



**FEUP** FACULDADE DE ENGENHARIA  
UNIVERSIDADE DO PORTO

# **Desenvolvimento de uma nova cápsula para rolhas T-Cork**

Antony dos Santos Sobreira

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA**

---

Orientador: Prof. Francisco J. C. Xavier de Carvalho

---

Co-Orientador: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Rosanete Lourenço Reis

---

Co-Orientador: Dr.<sup>a</sup> Sarah Lagorsse Pontes

JULHO DE 2013



## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA 2012/2013**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Tel.: +351 225 081 721

Fax: +351 225 081 445

✉ [secretariado\\_demec@fe.up.pt](mailto:secretariado_demec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica - 2012/2013 - Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor





Ao meu Pai, à minha Mãe e à minha Irmã que são os  
alicerces do caminho que construo todos os dias



## **AGRADECIMENTOS**

Porque para mim a família está sempre em primeiro, quero agradecer ao meu pai Antonino Sobreira, à minha mãe Maria Luísa Santos e à minha irmã Nelly Sobreira, por me terem proporcionado todas as ferramentas necessárias à minha formação tanto académica como cívica. Sem eles não teria sido possível alcançar esta meta. Um muito obrigado!

Em segundo lugar, quero agradecer ao meu orientador Professor Francisco Xavier de Carvalho, por tudo o que aprendi com ele e porque sem a sua intervenção neste projeto, seguramente, os resultados obtidos não teriam sido atingidos. Esteve sempre presente, acessível, prestável, competente, enfim... as qualidades que um orientando anseia em encontrar no seu orientador.

Quero também agradecer às minhas coorientadoras, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Reis e Dr.<sup>a</sup> Sarah Pontes, pelas informações, ajudas e recursos cedidos para a realização da minha dissertação.

Ao Tiago Carvalho e ao Cedrico Oliveira que foram um suporte através da sua amizade durante todo este semestre de mobilidade no Porto.

Ao Eng. David Miranda, deixo o meu agradecimento pela ajuda prestada nas simulações numéricas realizadas neste trabalho.

Por fim, quero agradecer à Eng.<sup>a</sup> Fátima Oliveira pela ajuda prestada nos ensaios mecânicos realizados na Raro que foram fulcrais para este projeto.



## **RESUMO**

Este trabalho resulta do projeto realizado durante quatro meses ao abrigo do Programa de Mobilidade Almeida Garrett na Faculdade Engenharia da Universidade do Porto, para conclusão do curso de Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica realizado na Universidade de Aveiro. O projeto foi submetido pela empresa Amorim&Irmãos e consistiu no desenvolvimento de uma nova cápsula para rolhas T-Cork, em conjunto com a FEUP e o INEGI.

A inovação associada à nova cápsula, está no desenvolvimento de dois sistemas com finalidades distintas. Um dos sistemas desenvolvidos é um acoplamento mecânico que vem substituir a cola utilizada nas T-Cork atuais, para unir a rolha de cortiça à cápsula. O outro sistema é um mecanismo de deteção de violação, ou seja, é um sistema que informa o consumidor sobre a ocorrência de uma tentativa de abertura anterior.

Fazendo uma análise ao setor da indústria rolheira, conclui-se que não existem soluções aplicadas às rolhas de cortiça que respondam às capsulagens sem cola nem à deteção de violação de garrafas.

Foram assim projetados e desenvolvidos os dois sistemas, utilizando a metodologia estruturada para o desenvolvimento do produto, envolvendo definição de prioridades nos aspetos técnicos dos sistemas de acordo com os requisitos da Amorim&Irmãos, identificação de falhas, eliminação das mesmas e otimização das soluções, criação de protótipos físicos a partir da modelação em CAD e ensaios mecânicos. Por fim, e com base no desenvolvimento realizado, foram identificados os aspetos a alterar e a melhorar em desenvolvimentos futuros do projeto.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Cortiça, Rolhas Capsuladas, Injeção por Moldação, Acoplamento, Deteção de Violação, Anti-Contrafação, Poliestireno, ABS, Amorim, Protótipo, Desenvolvimento do Produto.



## **ABSTRACT**

This report is the result of a four months project, under Almeida Garrett Mobility Program in the Faculty of Engineering of Porto University, to complete the Integrated Master in Mechanical Engineering by Aveiro University.

This project was submitted by the enterprise Amorim&Irmãos, and it consisted on the development of a new capsule for T-Cork stoppers, working together with FEUP and INEGI.

The innovation associated to this new capsule has been found in the development of two different systems. One of the systems is a coupling between the cork stopper and the capsule that will replace the glue which is used on current T-Cork stoppers. The other system is a mechanism that detects an opening attempt, which means it will report to the consumer if there was an opening attempt before.

After some research, it can be concluded that the cork stoppers industry has no solutions to answer the problems that this two new mechanisms can solve.

In the design and development process of these two systems it was used the structured methodology for product development, involving definition of priorities in the systems technical aspects according to Amorim&Irmãos requirements, failures identification and elimination, solution optimization, construction of physical prototypes from CAD modeling and mechanical testing. Finally, and based on the development carried out, there was an identification of all the aspects that should be changed and improved in coming developments.

## **KEYWORDS**

Cork, Capsuled Stoppers, Injection Molding, Coupling, Anti-Counterfeiting, Polystyrene, ABS, Amorim, Prototype, Product Development.





# ÍNDICES



## ÍNDICE DE CONTEÚDOS

Agradecimentos.....	i
Resumo.....	iii
Abstract.....	v
Capítulo 1.....	1
Introdução.....	3
Enquadramento do trabalho.....	5
Objetivos do trabalho.....	7
Estrutura da tese.....	9
Capítulo 2.....	11
Revisão bibliográfica e conceitos inerentes ao tema.....	13
Moldação por injeção.....	15
Polímeros.....	19
Termoplásticos.....	19
Poliestireno.....	22
ABS.....	25
A Cortiça.....	27
As Rolhas.....	30
Rolhas Capsuladas.....	31
Rolhas Naturais.....	32
Rolhas Aglomeradas.....	33
Avaliação da Qualidade da Cortiça.....	34
Prototipagem.....	37
Simulação Numérica.....	39
Método dos elementos finitos.....	42
Sistemas de Acoplamento e de Detecção de Violação	
Aplicados à Indústria Rolheira.....	45
Conceito.....	47
Estado da Arte.....	49
Acoplamento Mecânico.....	49
Soluções Anti-Contrafação e Detecção de Violação..	51
Contrafação.....	53
Detecção de Violação.....	56
Capítulo 3.....	63
Desenvolvimento de Produto I: Sistema de	
Acoplamento.....	65
Criação de Conceitos.....	67
Protótipos.....	71
Ensaaios.....	75
Otimização da Solução, Protótipos e Ensaaios.....	79

Simulação de Esforços.....	85
Simulação da Injeção.....	89
Discussão dos Resultados.....	97
Produto Final.....	99
Capítulo 4.....	103
Desenvolvimento de Produto II: Sistema de Detecção de Violação.....	105
Criação do Conceito.....	107
Otimização da Solução, Protótipos e Ensaios.....	111
Simulação de Esforços.....	117
Simulação da Injeção.....	131
Produto Final.....	135
Capítulo 5.....	143
Considerações Finais.....	145
Conclusões.....	147
Desenvolvimentos Futuros.....	149
Bibliografia.....	151
Anexos.....	157

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1: Esquematização do ciclo da moldação por injeção (adaptado de [8]).....	16
Fig. 2.2: Estrutura molecular semicristalina de um polímero.....	20
Fig. 2.3: Estrutura molecular amorfa de um polímero.....	20
Fig. 2.4: Estrutura molecular semicristalina de um polímero com zonas cristalinas e amorfas.....	20
Fig. 2.5: Classificação dos termoplásticos em termos comerciais.....	22
Fig. 2.6: Unidades de repetição de estireno que compreendem o polímero.....	23
Fig. 2.7: Monómeros do ABS.....	26
Fig. 2.8: Prancha de cortiça.....	27
Fig. 2.9: Distribuição da produção média anual de cortiça a nível mundial no ano de 2010 (adaptado de [16]).....	28
Fig. 2.10: Descortiçamento do sobreiro.....	29
Fig. 2.11: Os três tipos de cortiça obtidos durante os três primeiros descortiçamentos (adaptado de [10]).....	29
Fig. 2.12: Produção do corpo das rolhas de cortiça naturais através da furação da prancha de cortiça com uma broca.....	30
Fig. 2.13: Rolhas T-Cork com corpo de cortiça colmatada, natural e aglomerada, respetivamente (adaptado de [21]).....	31
Fig. 2.14: Dimensões mais comuns do corpo de cortiça das rolhas capsuladas.....	31
Fig. 2.15: Rolha T-Cork com furo cego.....	32
Fig. 2.16: Rolha natural da Amorim (adaptado de [29]).....	32
Fig. 2.17: Rolha natural colmatada Acquamark da Amorim (adaptado [29]).....	33
Fig. 2.18: Rolha aglomerada Neutrocork da Amorim ([adaptado de 29]).....	33
Fig. 2.19: Exemplo de peças produzidas a partir de SLA.....	37
Fig. 2.20: Processo e componentes de uma impressão por estereolitografia (adaptado de [22]).....	37
Fig. 2.21: Relação entre os módulos de processamento do <i>Abaqus</i> <sup>TM</sup> .....	41
Fig. 2.22: Curva definida por $f(x)$ .....	42
Fig. 2.23: Acoplamento mecânico destinado à transmissão de potência através do movimento à torção.....	47
Fig. 2.24: Representação das solicitações à tração e torção utilizados para retirar uma rolha capsulada de um gargalo.....	47
Fig. 2.25: Esquematização do processo atual de colagem das rolhas capsuladas atualmente.....	50
Fig. 2.26: Rolha sintética.....	50

Fig. 2.27: Código de barras.....	53
Fig. 2.28: Holograma.....	53
Fig. 2.29: Selo fiscal do vinho com identificação em série.....	54
Fig. 2.30: Etiqueta RFID.....	54
Fig. 2.31: “Bubble tag”, etiqueta constituída por uma matriz polimérica 3D com bolhas de ar aleatoriamente distribuídas durante a sua solidificação.....	55
Fig. 2.32: Invólucro de PVC.....	56
Fig. 2.33: Invólucro de alumínio.....	56
Fig. 2.34: Invólucro de cera de lacre.....	56
Fig. 2.35: <i>Screw cap</i> em plástico.....	56
Fig. 2.36: <i>Screw cap</i> em alumínio.....	56
Fig. 2.37: Rolo de alumínio (adaptado de [6]).....	57
Fig. 2.38: Tiras de alumínio (adaptado de [6]).....	57
Fig. 2.39: Revestimento de proteção e pintura das tiras de alumínio (adaptado de [6]).....	57
Fig. 2.40: Secagem das tiras de alumínio (adaptado de [6]).....	58
Fig. 2.41: Corte das tiras de alumínio para a formação dos discos (adaptado de [6]).....	58
Fig. 2.42: Estampagem dos discos para formar o “copo” final (adaptado de [6]).....	58
Fig. 2.43: Formação dos sulcos, ranhura de retenção e capilares (adaptado de [6]).....	59
Fig. 2.44: Estampagem dos discos para formar o “copo” final (adaptado de [6]).....	59
Fig. 2.45: Estampagem dos discos para formar o “copo” final (adaptado de [6]).....	59
Fig. 2.46: Faixa vermelha que prova que a garrafa já foi aberta (adaptado de [7]).....	60
Fig. 2.47: Processo de abertura de um vedante com dispositivo de DV externo (adaptado de [7]).....	60
Fig. 2.48: Estrutura de um dispositivo <i>non-refillable</i> da marca <i>Guala</i> (adaptado de [7]).....	61
Fig. 2.49: Tampa da marca <i>Compal</i> com sistema de DV que utiliza e emissão de um som característico como alerta para o utilizador.....	61
Fig. 3.1: Primeiro conceito criado para o acoplamento.....	67
Fig. 3.2: Cápsula do segundo conceito criado para o acoplamento.....	68
Fig. 3.3: Segundo conceito criado para o acoplamento.....	68
Fig. 3.4: Bucha do segundo conceito criado para o acoplamento.....	68

Fig. 3.5: Meias anilhas do terceiro conceito criado para o acoplamento.....	69
Fig. 3.6: Cápsula do terceiro conceito criado para o acoplamento.....	69
Fig. 3.7: Terceiro conceito criado para o acoplamento.....	69
Fig. 3.8: Componentes utilizados na construção dos primeiros protótipos.....	71
Fig. 3.9: Protótipo nº1.....	71
Fig. 3.10: Protótipo nº2.....	72
Fig. 3.11: Protótipo nº3.....	72
Fig. 3.12: Protótipo nº4.....	72
Fig. 3.13: Protótipo nº5.....	73
Fig. 3.14: Protótipo nº6.....	73
Fig. 3.15: Protótipo nº1 após ensaio à tração.....	75
Fig. 3.16: Protótipo nº2 após ensaio à tração.....	75
Fig. 3.17: Protótipo nº3 após ensaio à tração.....	76
Fig. 3.18: Protótipo nº4 após ensaio à tração.....	77
Fig. 3.19: Protótipo nº5 após ensaio à tração.....	77
Fig. 3.20: Protótipo nº6 após ensaio à tração.....	77
Fig. 3.21: Primeira otimização do sistema de acoplamento após os primeiros ensaios mecânicos.....	79
Fig. 3.22: Cápsula e meias anilhas da primeira otimização do sistema de acoplamento após os primeiros ensaios mecânicos.....	80
Fig. 3.23: Protótipo da primeira otimização do sistema de acoplamento.....	80
Fig. 3.24: Modelação CAD do sistema de acoplamento final.....	81
Fig. 3.25: Otimização das lâminas.....	82
Fig. 3.26: Protótipo final do sistema de acoplamento feito por SLA.....	82
Fig. 3.27: Protótipo da solução final após ensaio à tração.....	83
Fig. 3.28: Protótipo da solução final após ensaio à torção.....	83
Fig. 3.29: Malha aplicada ao modelo em estudo.....	85
Fig. 3.30: Resultado da simulação dos deslocamentos U para a cápsula exterior cujo material é o GPPS <i>STYRON<sup>TM</sup> 678E</i> .....	85
Fig. 3.31: Resultado da simulação das tensões de <i>Von Mises</i> , S, para a cápsula exterior cujo material é o GPPS <i>STYRON<sup>TM</sup> 678E</i> .....	86
Fig. 3.32: Resultado da simulação dos deslocamentos, U, e tensões de <i>Von Mises</i> , S, para a cápsula exterior cujo material é o HIPS <i>STYRON A-Tech<sup>TM</sup> 1200</i> .....	86
Fig. 3.33: Resultado da simulação dos deslocamentos, U, e tensões de <i>Von Mises</i> , S, para a cápsula exterior cujo material é o ABS <i>RTP 699</i> .....	87

Fig. 3.34: Resultado da simulação dos deslocamentos, U, e tensões de Von Mises, S, para a cápsula exterior cujo material é o <i>RenShape<sup>TM</sup> SL 7810</i> .....	87
Fig. 3.35: Ângulo de inclinação.....	90
Fig. 3.36: Saídas negativas (camisa).....	91
Fig. 3.37: Conformidade para ataques (camisa).....	91
Fig. 3.38: Tempo de enchimento (camisa).....	91
Fig. 3.39: Temperatura da frente de fluxo (camisa).....	92
Fig. 3.40: Prisões de ar (camisa).....	92
Fig. 3.41: Linhas de soldadura (camisa).....	92
Fig. 3.42: Contração volumétrica da extração (camisa).....	93
Fig. 3.43: Ângulo de inclinação (cápsula exterior).....	93
Fig. 3.44: Saídas negativas (cápsula exterior).....	93
Fig. 3.45: Indicador de resistência do fluxo (cápsula exterior).....	94
Fig. 3.46: Tempo de enchimento (cápsula exterior).....	94
Fig. 3.47: Temperatura da frente de fluxo (cápsula exterior).....	94
Fig. 3.48: Prisões de ar (cápsula exterior).....	95
Fig. 3.49: Linhas de soldadura (cápsula exterior).....	95
Fig. 3.50: Contração volumétrica da extração (cápsula exterior).....	95
Fig. 3.51: Processo de montagem do novo sistema de acoplamento.....	99
Fig. 3.52: Comparação, através de fotorrealismo, do aspeto das duas cápsulas: a cápsula produzida atualmente e a cápsula desenvolvida neste trabalho.....	100
Fig. 4.1: Bucha do sistema de DV.....	108
Fig. 4.2: Pino do sistema de DV com camisa incorporada.....	108
Fig. 4.3: Camisa do sistema de DV.....	108
Fig. 4.4: Primeira proposta para o sistema de DV.....	108
Fig. 4.5: Cápsula do sistema de DV.....	108
Fig. 4.6: Possível zona de ataque entre a cápsula e a garrafa (a azul) vista da perspetiva do violador.....	109
Fig. 4.7: Aspeto da rolha antes e depois do disparo do sistema de DV.....	109
Fig. 4.8: Protótipos do sistema de DV feitos por SLA.....	111
Fig. 4.9: Assemblagem dos componentes da primeira proposta para o sistema de DV.....	111



Fig. 4.10: Palhetas responsáveis pelos movimentos à torção e à compressão antes do disparo do sistema de DV.....	111
Fig. 4.11: Palhetas depois do disparo do sistema de DV.....	112
Fig. 4.12: Rolha torneada e furada.....	112
Fig. 4.13: Geometrias que exigem um sistema de maxilas no molde.....	113
Fig. 4.14: Novo sistema de DV de assembledo.....	114
Fig. 4.15: Componentes da nova solução.....	114
Fig. 4.16: Protótipos do novo sistema de DV.....	115
Fig. 4.17: Protótipo após ensaio à tração.....	115
Fig. 4.18: Protótipo após ensaio à torção.....	116
Fig. 4.19: Movimento incorreto que origina frequentemente a rutura das rolhas pela cortiça.....	116
Fig. 4.20: Protótipo do sistema de DV com corte transversal da rolha.....	116
Fig. 4.21: Vista isométrica da palheta e respetiva cotagem (em milímetros).....	118
Fig. 4.22: Flecha sofrida pela palheta à flexão.....	118
Fig. 4.23: Representação do caso elementar de solicitação à flexão e respetiva flecha (adaptado de [28]).....	118
Fig. 4.24: As quatro malhas diferentes para o mesmo modelo.....	120
Fig. 4.25: Resultados das simulações das malhas 1 e 2 para o mesmo modelo em GPPS.....	121
Fig. 4.26: Resultados das simulações das malhas 1 e 2 para o mesmo modelo em GPPS.....	122
Fig. 4.27: Resultado da simulação das tensões de <i>Von Mises</i> , S, para a palheta cujo material é o HIPS <i>STYRON A-Tech<sup>TM</sup> 1200</i> .....	123
Fig. 4.28: Resultado da simulação das tensões de <i>Von Mises</i> , S, para a palheta cujo material é o ABS <i>RTP 699</i> .....	123
Fig. 4.29: Resultado da simulação das tensões de <i>Von Mises</i> , S, para a palheta cujo material é o <i>RenShape<sup>TM</sup> SL 7810</i> .....	123
Fig. 4.30: Resultado da simulação dos deslocamentos, U, e tensões de <i>Von Mises</i> , S, para o pino cujo material é o <i>STYRON<sup>TM</sup> 678E</i> .....	124
Fig. 4.31: Resultado da simulação dos deslocamentos, U, e tensões de <i>Von Mises</i> , S, para o pino cujo material é o HIPS <i>STYRON A-Tech<sup>TM</sup> 1200</i> .....	124
Fig. 4.32: Resultado da simulação dos deslocamentos, U, e tensões de <i>Von Mises</i> , S, para o pino cujo material é o ABS <i>RTP 699</i> .....	124
Fig. 4.33: Resultado da simulação dos deslocamentos, U, e tensões de <i>Von Mises</i> , S, para o pino cujo material é o <i>RenShape<sup>TM</sup> SL 7810</i> .....	125

Fig. 4.34: Resultado da simulação dos deslocamentos, U, e tensões de <i>Von Mises</i> , S, para a seta do pino cujo material é o <i>STYRON<sup>TM</sup> 678E</i> .....	126
Fig. 4.35: Resultado da simulação dos deslocamentos, U, e tensões de <i>Von Mises</i> , S, para a seta do pino cujo material é o <i>HIPS STYRON A-Tech<sup>TM</sup> 1200</i> .....	126
Fig. 4.36: Resultado da simulação dos deslocamentos, U, e tensões de <i>Von Mises</i> , S, para a seta do pino cujo material é o <i>ABS RTP 699</i> .....	126
Fig. 4.37: Resultado da simulação dos deslocamentos, U, e tensões de <i>Von Mises</i> , S, para a seta do pino cujo material é o <i>RenShape<sup>TM</sup> SL 7810</i> .....	127
Fig. 4.38: Resultado da simulação dos deslocamentos, U, e tensões de <i>Von Mises</i> , S, para cápsula exterior cujo material é o <i>STYRON<sup>TM</sup> 678E</i> .....	127
Fig. 4.39: Resultado da simulação dos deslocamentos, U, e tensões de <i>Von Mises</i> , S, para a cápsula exterior cujo material é o <i>HIPS STYRON A-Tech<sup>TM</sup> 1200</i> .....	128
Fig. 4.40: Resultado da simulação dos deslocamentos, U, e tensões de <i>Von Mises</i> , S, para a cápsula exterior cujo material é o <i>ABS RTP 699</i> .....	128
Fig. 4.41: Resultado da simulação dos deslocamentos, U, e tensões de <i>Von Mises</i> , S, para a cápsula exterior cujo material é o <i>RenShape<sup>TM</sup> SL 7810</i> .....	129
Fig. 4.42: Saídas negativas (bucha).....	131
Fig. 4.43: Conformidade para ataques (bucha).....	132
Fig. 4.44: Prisões de ar (bucha).....	132
Fig. 4.45: Temperatura da frente de fluxo (bucha).....	132
Fig. 4.46: Prisões de ar (bucha).....	133
Fig. 4.47: Linhas de soldadura (bucha).....	133
Fig. 4.48: Contração volumétrica da extração (bucha).....	133
Fig. 4.49: Componentes da última versão do sistema de DV.....	135
Fig. 4.50: Aparafusamento da bucha na rolha.....	136
Fig. 4.51: Colocação da camisa na rolha.....	136
Fig. 4.52: Montagem do pino.....	137
Fig. 4.53: Flexão das palhetas no interior da cápsula.....	137
Fig. 4.54: Rotação da cápsula ( representada a verde).....	138
Fig. 4.55: Elevação da cápsula e retorno das palhetas à sua forma inicial.....	138

Fig. 4.56: Aspeto da nova rolha antes e depois do disparo do sistema DV.....	139
Fig. 4.57: Aspeto da nova rolha engarrafada, antes e depois do disparo do sistema DV.....	139



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1: Propriedades físicas e mecânicas do poliestireno <i>STYRON<sup>TM</sup> 678E</i> .....	24
Tabela 2.2: Propriedades físicas e mecânicas do poliestireno <i>STYRON A-Tech<sup>TM</sup> 1200</i> .....	25
Tabela 2.3: Propriedades físicas e mecânicas do ABS <i>RTP 699 X 81044 F Z</i> .....	26
Tabela 2.4: Propriedades físicas e mecânicas da resina <i>RenShape<sup>TM</sup> SL 7810</i> .....	38
Tabela 4.1: Valores da tensão máxima resultante da flexão para cada material.....	117
Tabela 4.2: Valores da tensão de cedência para os quatro materiais.....	118



## LISTA DE

### ACRÓNIMOS

### SIGLAS E

### SÍMBOLOS

<b>ABS</b>	Acrilonitrilo-butadieno-estireno
<b>APCOR</b>	Associação Portuguesa da Cortiça
<b>ASTM</b>	<i>American Society for Testing and Materials</i>
<b>CAD</b>	<i>Computer-Aided Manufacturing</i>
<b>CAE</b>	<i>Computer-Aided Engineering</i>
<b>CAM</b>	<i>Computer-Aided Design</i>
<b>DV</b>	Deteção de Violação
<b>FDA</b>	<i>Food and Drug Administration</i>
<b>FEUP</b>	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
<b>GPPS</b>	Poliestireno cristal para uso geral – <i>General Purpose Polystyrene</i>
<b>GPRS</b>	<i>General Packet Radio Service</i>
<b>HIPS</b>	Poliestireno de alto impacto
<b>I&amp;D</b>	Investigação e Desenvolvimento
<b>INEGI</b>	Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial
<b>ISO</b>	<i>International Organization for Standardization</i>
<b>MEF</b>	Método dos Elementos Finitos
<b>PS</b>	Poliestireno – <i>Polystyrene</i>
<b>PVC</b>	Policloreto de Polivinila - <i>Polyvinyl Chloride</i>
<b>ROPP</b>	<i>Roll On Pilfer Proof</i>
<b>RFID</b>	<i>Radio-Frequency Identification</i>
<b>SLA</b>	Estereolitografia
<b>STL</b>	<i>STereoLithography</i> (formato de ficheiro informático)
<b>TCA</b>	Tricloroanisol
<b>E</b>	Módulo de Young
<b>I</b>	Momento de Inércia
<b>F</b>	Força
<b>h</b>	Altura
<b>L</b>	Comprimento
<b>M</b>	Momento
<b>T<sub>f</sub></b>	Temperatura de fusão

$T_g$	Temperatura de transição vítrea
$\sigma_{m\acute{a}x}$	Tensão máxima
$\sigma_{ced}$	Tensão de cedência
$\nu$	Flecha



# CAPÍTULO 1



# INTRODUÇÃO



## 1.1

### ENQUADRAMENTO DO TRABALHO

Vivemos na era da globalização. Vivemos, hoje, uma competição global inerente a praticamente todas as empresas e ramos de negócio. Se a globalização é uma consequência natural da evolução tecnológica conjugada com a saturação dos mercados internos, então podemos dizer que o que produzimos hoje deixa de competir diretamente com o vizinho do lado e passa a competir com o vizinho antipodal.

A exigência dos mercados causou uma frenética económica alucinante que penaliza quem não se atualiza e premeia líderes da inovação. Qualquer livro atual de economia ou gestão refere a importância de liderar a “linha do reconhecimento de território”. Esta expressão surge muitas vezes para fazer a analogia entre os soldados que fazem o reconhecimento de território diante de cerrados nevoeiros e as empresas que procuram continuamente saber o que satisfaz e vinga na exigência atual dos mercados. Para responder a tal exigência, existe um processo de pesquisa/investigação e desenvolvimento, que segundo vários estudos económicos é apontado como uma das soluções para que as empresas tenham um crescimento sustentado e acima das suas congéneres.

Este trabalho enquadra-se exatamente neste âmbito. Existe uma necessidade por parte da indústria das bebidas de consumo compassado e que necessitam de estágios de maturação relativamente longos, de adquirir uma rolha de cortiça capsulada que possua um sistema de deteção de violação incorporado e um sistema de acoplamento que substitua a cola utilizada, atualmente, para unir a cápsula à rolha de cortiça.

Todos os anos, centenas de milhões de garrafas das mais prestigiadas marcas de bebidas são falsificadas, sendo recarregadas com outros produtos, por vezes perigosos, que em alguns casos levam a consequências dramáticas. É um fenómeno que continua a crescer, provocando danos irreparáveis à imagem das empresas em questão, para não mencionar a perda de receitas, que é estimada em mais de 300.000.000.000 de euros a nível mundial [7].

A contrafação, possível em garrafas cuja violação não pode ser detetada ou mesmo em garrafas cuja violação pode ser detetada mas que se sabe que podem ser abertas várias vezes, é um crime que tem aumentado nos últimos anos e em tempos de crise tem tendência a agravar-se ainda mais, chegando a mais ramos do mercado e em maior quantidade. O problema associado a uma contrafação bem sucedida é o facto dos contrafactores poderem colocar no mercado um produto contrafeito a partir de uma clonagem indetetável ao longo de toda a cadeia de comercialização e é nesse contexto que a adversidade da contrafação e violação de produtos comerciais tem sido alvo de investigação há vários anos.

Em relação ao problema associado à cola, existem motivos para se querer eliminar a mesma tanto por parte dos produtores das bebidas como por parte dos produtores das rolhas capsuladas. Condições de transporte e armazenamento inadequados, como a exposição da embalagem alimentar a altas temperaturas, podem favorecer a descolagem da cápsula à rolha. Por outro lado, num produto essencialmente de origem natural como é a rolha de cortiça, é desejável caminhar no sentido da redução dos produtos químicos que integram o produto final, como é o caso dos adesivos utilizados na capsulagem. Ecologia é um tema que tem ganho cada vez mais relevância no desenvolvimento das novas tecnologias e, felizmente, nos últimos anos tem caminhado a par da evolução. Hoje em dia, imensos novos produtos têm certificados ecológicos e deparamo-nos, cada vez mais, com grandes marcas a investir na ecologia porque sabem que por si só a ecologia é um ótimo exemplo de bom marketing.

## 1.2

### OBJETIVOS DO TRABALHO

Os objetivos definidos para este trabalho passam por um equilíbrio entre vários temas. Pretende-se criar um novo produto dividido em duas gamas:

- Rolha capsulada utilizando o novo sistema de acoplamento isento de cola;
- Rolha capsulada integrando o novo sistema de detecção de violação e o novo sistema de acoplamento em simultâneo;

Durante o desenvolvimento das duas gamas estiveram sempre presentes cinco objetivos:

- Criar um produto constituído somente por cortiça e um polímero;
- Criar uma cápsula que não exija um sistema de injeção por moldação muito complexo;
- Manter o mesmo aspeto físico das atuais rolhas capsuladas;
- Criar um produto que se consiga adaptar facilmente a uma linha de montagem automática;
- Adaptar a nova rolha capsulada à geometria atual das garrafas para que os produtores das respetivas bebidas possam continuar a utilizar o mesmo formato de garrafa que já utilizavam anteriormente.

Relativamente ao sistema de detecção de violação, existem vários conceitos associados a sistemas deste tipo, no entanto ficou definido que para este trabalho o objetivo seria chegar a uma solução que informasse o consumidor sobre a ocorrência duma tentativa de abertura da garrafa, ou seja, o sistema de detecção de violação será acionado assim que o consumidor exercer sobre a rolha um movimento axial à tração em relação ao gargalo da garrafa. Este objetivo encontra-se no seguimento dos cinco objetivos acima referidos, isto é, o sistema de detecção de violação foi projetado salvaguardando os pontos descritos no parágrafo anterior.





### 1.3

#### **ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

A presente dissertação é constituída por cinco capítulos, todos eles interligados e com o mesmo propósito: explicar as temáticas mais importantes que estão relacionadas com o tema indicado e todo o processo de desenvolvimento realizado ao longo de quatro meses dedicados ao projeto da nova cápsula para rolhas T-Cork.

No primeiro capítulo faz-se uma breve introdução ao sistema de acoplamento e de deteção de violação e uma descrição do enquadramento do trabalho tal como dos objetivos definidos.

No segundo capítulo é feita uma revisão bibliográfica e definição dos conceitos mais relevantes inerentes ao desenvolvimento da nova cápsula T-Cork, tal como a descrição da atual tecnologia associada aos sistemas de acoplamento e de deteção de violação aplicados à indústria rolheira.

Quanto aos capítulos três e quatro, pretende-se dar a conhecer todo o trabalho de desenvolvimento dos novos sistemas de acoplamento e de deteção de violação, apresentando os protótipos, ensaios e simulação numérica desenvolvidos durante a dissertação.

No quinto capítulo, apresentam-se as conclusões dos resultados dos desenvolvimentos dos dois sistemas com algumas referências a possíveis desenvolvimentos futuros.



# CAPÍTULO 2



## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E CONCEITOS INERENTES AO TEMA



### **2.1.1**

## **MOLDAÇÃO POR INJEÇÃO**

A moldação por injeção é uma das técnicas de fabrico mais utilizadas no processamento de materiais plásticos e Portugal ocupa um lugar cimeiro a nível mundial na área da indústria dos moldes direcionados a esta tecnologia [23].

Este processo de fabrico é dos processos mais económicos e vantajosos existentes no mercado pois alia a produção em grandes quantidades a um baixo custo. É a área da engenharia de polímeros em que mais se aplicam as competências da engenharia, pois consegue-se obter peças sólidas tridimensionais com elevada precisão e de geometria relativamente complexa.

A moldação por injeção de termoplásticos consiste na plasticização de um termoplástico granulado ou em pó através de um cilindro metálico aquecido. Para ocorrer à plasticização, é utilizado um parafuso sem-fim com uma geometria especial que transporta o granulado até à extremidade do cilindro metálico. Quando o material chega à extremidade do tubo de metal, é sujeito a uma grande pressão que por si só gera calor que provoca a fusão do termoplástico. No entanto, a fonte principal de calor é gerada a partir de resistências elétricas distribuídas ao longo do tubo e controladas por um sistema eletrónico que provoca o aumento da temperatura no interior do tubo. Dependendo da máquina, o aquecimento também pode ser realizado a partir de um fluido, geralmente água ou óleo.

Quando a temperatura do material atinge o valor estabelecido para que possa dar-se a injeção, é aberta uma válvula que deixa o termoplástico fundido percorrer os canais do molde fechado até este ficar completamente preenchido. De seguida dá-se o arrefecimento da peça para depois ser desmoldada através dos extratores.

Durante o ciclo de injeção são originadas, nas peças moldadas, tensões residuais internas devido a inúmeras razões, nomeadamente: tensões induzidas pelo próprio escoamento do material; tensões resultantes das altas pressões impostas durante o arrefecimento e solidificação do material plástico, sendo estas, responsáveis pela deformação e/ou empenos, bem como pela menor resistência mecânica das peças após a sua extração [8].

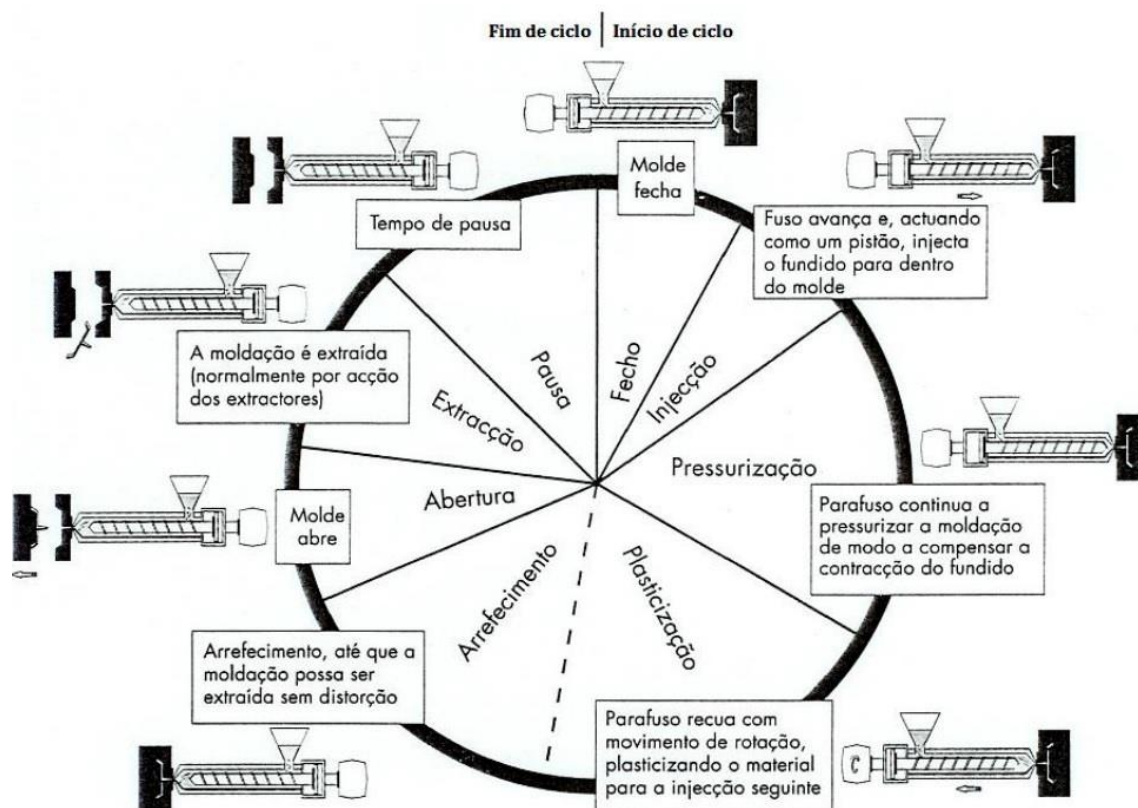


Fig. 2.1: Esquematisação do ciclo da moldação por injeção (adaptado de [8]).

Os parafusos sem-fim têm uma geometria especial, uma ponta adequada e, dependendo das versões, podem ter uma válvula antirretorno fazendo com que o material só escoe num sentido.

A indústria de fabricação de moldes serve vários processos de produção de peças. No caso da moldação por injeção, tal como já foi exemplificado o processo necessita de um molde, geralmente metálico, para dar origem à forma da peça projetada. Existe uma grande variedade de peças a produzir e como tal, os moldes devem acompanhar as necessidades da peça final, adequando o material utilizado no seu fabrico, bem como a complexidade da geometria e o seu desenho. Como é óbvio, todos os processos estão em constante desenvolvimento e a evolução dos métodos de fabrico de moldes bem como a evolução das ferramentas para a sua obtenção estão a ser desenvolvidos a passos largos. Toda esta evolução é acompanhada pelo computador, tendo sido este o maior impulsionador da engenharia de fabricação, quer na função de armazenamento, quer no controlo de informações, através da introdução de novos conceitos como o CAM (*Computer-Aided*



*Manufacture*), que auxilia, via computador, a preparação do fabrico, e o CAD (*Computer-Aided Design*), que permite o desenho/projeto assistido por computador. Outro sistema utilizado no fabrico de moldes é a simulação assistida por computador. Desta forma o operador pode adequar o molde exatamente às dimensões exigidas pela peça sem risco de desperdício de material e contabilizando o processo efetivo de contabilização do molde. Todas estas tecnologias possibilitam uma obtenção de um molde com uma qualidade superior quanto à superfície e quanto à forma [9].

O preço associado a um processo de moldação por injeção depende principalmente da geometria da peça pretendida e dos tempos de cada ciclo completo de injeção. Estes são os fatores decisivos que ditam o orçamento da produção da peça, tendo em conta que lhes estão associados a complexidade do molde e a máquina com as características necessárias para que todo o processo de injeção seja bem sucedido. Uma geometria demasiado complexa requer um maior número de peças integradas no molde e consequentemente mais operações de fecho deste e de desmoldação. Requer também máquinas de injeção que consigam injetar a altas pressões. A espessura da peça também é muito importante, pois espessuras abaixo dos 0,8 mm requerem especial atenção à velocidade e à pressão de injeção, assim como à viscosidade do material fundido pronto a ser injetado. Quanto menor for a espessura maior terá de ser a velocidade de injeção, o que requer por vezes máquinas altamente sofisticadas que não são muito comuns na indústria dos moldes. Estes aspetos foram tidos em conta durante o desenvolvimento e projeto das soluções, pois revelou-se ser um aspeto imperativo na otimização de qualquer solução que passe pela moldação por injeção.

Sendo a moldação por injeção um processo cíclico, a otimização deste ciclo é fundamental para assegurar a competitividade económica do processo, dado o elevado investimento em capital, requerido para a instalação deste tipo de equipamento (máquina de injeção, molde e equipamentos auxiliares. Na atividade industrial o objetivo é produzir peças, conforme as respetivas especificações, no mais curto intervalo de tempo possível. Para o efeito, condições de processamento tais como pressão de injeção, temperaturas do fundido e do

molde, velocidade de injeção e contrapressão, necessitam de ser ajustadas tendo em conta as propriedades do material, a geometria da moldação e as especificações do produto final [8].

As fases do ciclo de moldação são praticamente independentes do tipo de máquina. No entanto, a sua duração pode ser muito diversa, variando de tempos inferiores a 1 segundo para peças muito finas, a várias dezenas de minutos para moldações muito espessas.

Este é, atualmente, o processo de fabrico utilizado para produzir as cápsulas da rolha T-Cork, sendo os materiais utilizados o poliestireno (PS – *Polystyrene*) e o ABS (Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno).

### 2.1.2

#### POLÍMEROS

Materiais poliméricos proporcionam uma grande liberdade de *design* para as mais variadas aplicações industriais, pois podem ser utilizados na produção de geometrias complexas através de vários processos de fabrico. Para além disso, apresentam uma panóplia enorme e diversificada de opções com características e propriedades específicas diferentes para que o produto final desejado seja o mais adequado possível à sua finalidade. O baixo peso dos materiais poliméricos também os torna ideais para muitas aplicações na substituição de componentes metálicos. Os polímeros são cerca de seis vezes mais leves do que o aço, são resistentes à corrosão e podem ser utilizados para fabricar componentes com formas e geometrias complexas, com baixos custos através de processos altamente automatizados, tais como a moldação por injeção e as tecnologias de extrusão existentes. Uma das vantagens dos materiais poliméricos é a oferta de flexibilidade e liberdade para *designs* elegantes, que têm mostrado cada vez mais importância como uma característica distintiva e base para as decisões de compra [11].

Segundo as propriedades mecânicas dos polímeros, eles estão divididos em três grupos: os termoplásticos, os termoendurecíveis (termofixos) e os elastómeros (borrachas).

De entre estes três grupos, o grupo em estudo para este trabalho é o grupo dos termoplásticos, pois é nele que estão inseridos o poliestireno e o ABS.

### 2.1.3

#### TERMOPLÁSTICOS

Os termoplásticos fundem e fluem quando aquecidos e solidificam quando arrefecidos. Se aquecidos subsequentemente, têm a capacidade de fluir novamente. Isto significa que podem ser reprocessados e consequentemente reciclados através de uma segunda plasticização. Quando os termoplásticos solidificam podem adquirir uma das seguintes estruturas moleculares: uma estrutura semicristalina ou uma estrutura amorfa, tal como ilustrado nas figuras 2.2 e 2.3, respetivamente.

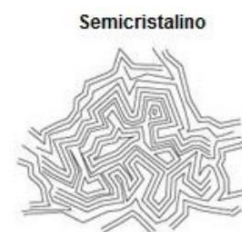
Quando os materiais semicristalinos arrefecem, a estrutura molecular tende a organizar-se e consequentemente formam-se cristais. O tamanho destas zonas cristalinas varia de acordo com a organização da própria estrutura e com a taxa de arrefecimento. Os materiais semicristalinos tendem a encolher devido ao seu arranjo molecular característico, o que conta como uma variável a ter em conta num processo de moldação por injeção, pois caso o processo de fabrico não seja bem estruturado e calculado antes de ser iniciado, a sua precisão será posta em causa e a peça moldada final não terá as dimensões pretendidas.

Os polímeros semicristalinos (figura 2.4) são bifásicos, combinando uma fase amorfa com zonas de estrutura molecular espacialmente muito ordenada, as cristalites. Este tipo de polímeros, cuja gama de temperaturas de serviço deverá estar compreendida entre a  $T_g$  (temperatura de transição vítrea) e  $T_f$  (temperatura de fusão) respetivas, são mais tenazes devido à capacidade dissipativa da fase amorfa e apresentam maior resistência química e ambiental devido às forças de coesão intermoleculares associadas às estruturas cristalinas.

Um incremento da cristalinidade conduz a um aumento de densidade, rigidez, resistência à tração, temperatura de distorção e resistência a solventes. Provoca uma diminuição da permeabilidade a gases e da resistência ao impacto. De facto, como estes materiais combinam um esqueleto estrutural rígido (fase cristalina), com uma matriz amorfa de elevada deformabilidade (fase amorfa), apresentam um interessante compromisso de propriedades, embora muito dependente da gama de temperaturas de serviço [8].

As principais diferenças comportamentais entre os materiais amorfos e semicristalinos observadas durante a moldação por injeção são:

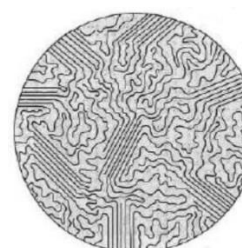
- Fusão e solidificação - Os termoplásticos amorfos exibem uma longa banda de temperatura, durante a qual passam do estado sólido para fundido, enquanto no caso dos termoplásticos semicristalinos a mudança de estados ocorre muito rapidamente, em pequenos intervalos de temperatura. Já em relação à



**Fig. 2.2:** Estrutura molecular semicristalina de um polímero (adaptado de [23]).



**Fig. 2.3:** Estrutura molecular amorfa de um polímero (adaptado de [23]).



**Fig. 2.4:** Estrutura molecular semicristalina de um polímero com zonas cristalinas e amorfas (adaptado de [23]).

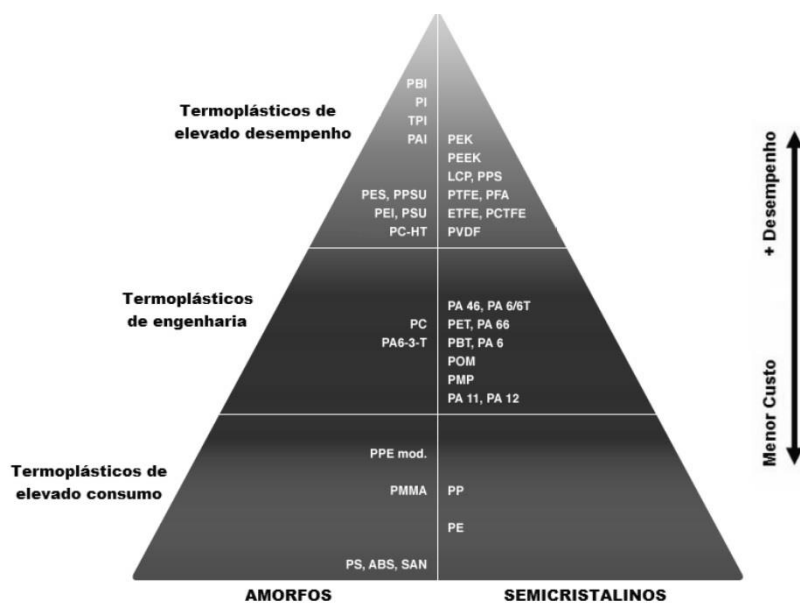
solidificação, no caso dos termoplásticos amorfos o arrefecimento é lento e a sua amplitude de temperaturas é grande, inversamente ao que acontece no caso dos termoplásticos semicristalinos, que rapidamente arrefecem num estreito intervalo de temperaturas [12].

- Contração – Os termoplásticos amorfos apresentam baixos valores de contração quando solidificados, geralmente, entre 0.5% e 1%. Por sua vez, os termoplásticos semicristalinos, apresentam contrações na ordem dos 1.5% a 5%, dependendo do material em causa.

A maior contração verificada nos materiais semicristalinos, deve-se ao facto de a repetição das unidades ao longo das cadeias moleculares ser de tal forma que estas se podem acomodar muito e de forma bastante ordenada. Através da utilização de condições adequadas de moldação é possível variar a dimensão das áreas cristalinas. Quando um material semicristalino é moldado num molde aquecido, as taxas de arrefecimento são mais lentas, permitindo mais tempo às cadeias moleculares de se desembaraçarem e formarem zonas cristalinas. Como resultado, é possível obter uma maior proporção de material com zonas cristalinas, proporcionando assim ao produto uma maior força mecânica e estabilidade dimensional, mas com piores resultados ao nível da contração. Inversamente, no caso da utilização de moldes frios, o rápido arrefecimento do produto inibe a formação de zonas cristalinas, o que lhe proporciona menor contração, mas menor estabilidade dimensional e resistência mecânica. Na figura 2.5, pode ser vista a classificação dos termoplásticos em termos comerciais.

Já os polímeros com uma estrutura molecular amorfa, não apresentam uma organização estruturada das respetivas cadeias moleculares. De facto, a consistência do material depende fundamentalmente do grau de interação mecânica entre as cadeias moleculares, que se entrelaçam umas nas outras de uma forma aleatória. Estes tipos de termoplásticos têm uma gama de temperaturas de serviço inferior à  $T_g$  (temperatura de transição vítrea) respetiva, por isso apresentam uma grande estabilidade dimensional, sendo relativamente

pouco suscetíveis a fenómenos viscoelásticos [8].



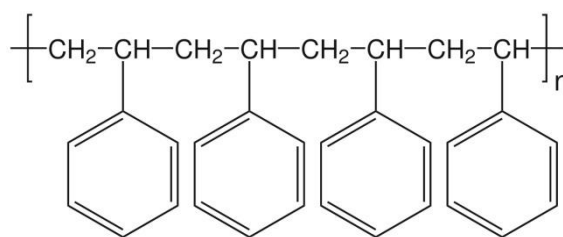
**Fig. 2.5:** Classificação dos termoplásticos em termos comerciais (adaptado de [23]).

## 2.1.4 POLIESTIRENO

O poliestireno (PS) - O poliestireno é um polímero termoplástico amorfo, vítreo, que é geralmente rígido e relativamente barato. É obtido através da polimerização do estireno (um líquido oleoso, incolor e de cheiro penetrante) e é um derivado insaturado do benzeno. O poliestireno é brilhante e é muitas vezes referido como cristal PS ou poliestireno de uso geral (GPPS). Para resolver o problema da fragilidade recorre-se frequentemente ao poliestireno de alto impacto (HIPS). Este é produzido pela adição de borracha ou copolímero de butadieno que aumenta a dureza e resistência ao impacto do polímero, obtendo-se o chamado polibutadienoestireno que apresenta uma elasticidade muito superior à do poliestireno, uma vez que a estrutura do butadieno se comporta praticamente como uma borracha. Os poliestirenos possuem boas propriedades de fluidez a baixas temperaturas, e podem facilmente ser extrudidos, injetados ou moldados por compressão.

Este material polimérico foi descoberto há mais de cem anos, mas a sua natureza molecular real não foi esclarecida até cerca de 1920 quando o trabalho de Staudinger elucidou a estrutura molecular dos materiais no arranque da ciência de polímeros. Por volta de 1930, a I.G. Farben, na Alemanha, produziu pela primeira vez poliestireno, enquanto, ao mesmo tempo, a Dow Chemical Company iniciou o desenvolvimento bem sucedido do material [13].

O estireno é obtido por reação de etileno com benzeno, na presença de cloreto de alumínio para se obter o etilbenzeno. O grupo benzeno neste composto é, em seguida, desidrogenado para originar feniletileno, ou estireno, um hidrocarboneto líquido límpido com a estrutura química  $\text{CH}_2\text{CHC}_6\text{H}_5$ . O estireno é polimerizado usando iniciadores de radicais livres, principalmente em processos de massa e de suspensão. A estrutura da unidade de repetição do polímero está representada na figura 2.6.



**Fig. 2.6:** Unidades de repetição de estireno que compreendem o polímero.

A presença dos grupos fenilos ( $\text{C}_6\text{H}_5$ ) é a chave para as propriedades do poliestireno. O poliestireno é transparente devido a esses grandes grupos moleculares em forma de anel, que impedem que as cadeias poliméricas organizem arranjos cristalinos demasiado próximos. Além disso, os anéis fenilo restringem a rotação das cadeias em torno das ligações carbono-carbono, concedendo ao polímero a sua rigidez notável [14].

Para produzir as cápsulas T-Cork, são utilizadas uma série de gamas de poliestireno. A escolha da gama do poliestireno é feita de acordo com a finalidade da cápsula e requisitos do cliente. As gamas resultam da mistura dos seguintes extremos do poliestireno: o poliestireno cristal GPPS (*STYRON<sup>TM</sup> 678E*) e o poliestireno de alto impacto (*STYRON A-Tech<sup>TM</sup> 1200*).

Segundo a ficha técnica da *STYRON*, o PS *STYRON<sup>TM</sup> 678E* é um poliestireno de uso geral com uma boa fluidez e resistência. Foi criado para revestimentos de tampas com moldação por injeção e para ser usado puro ou em misturas com outros polímeros de alto impacto e boa fluidez em aplicações de moldação por injeção. A sua ficha técnica pode ser consultada no anexo A. Para a realização dos cálculos estruturais, relativos a este material, demonstrados nos capítulos 3 e 4, foram considerados os valores da tabela 2.1.

Propriedades Físicas	Valor típico (métrico)	Método
Densidade	1,05 g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183
Densidade aparente	0,60 g/cm <sup>3</sup>	ISO 60
Índice de fluidez (200 °C/5 kg)	11 g/10min	ISO 1133

Propriedades Mecânicas	Valor típico (métrico)	Método
Esforço de tensão (limite elasticidade)	43 MPa	ISO 527-2/5
Deformação por tensão (na rutura)	2%	ISO 527-2/5
Módulo de flexão	3500 MPa	ISO 178
Resistência à flexão	80 MPa	ISO 178
Coefficiente de Poisson	0.34	N/A

Tabela 2.1: Propriedades físicas e mecânicas do poliestireno *STYRON<sup>TM</sup> 678E*.

Em relação ao poliestireno de alto impacto, a respetiva ficha técnica diz que o PS *STYRON A-Tech<sup>TM</sup> 1200* é uma resina de poliestireno de alto impacto (HIPS) recentemente desenvolvida com base numa tecnologia patenteada pela *STYRON*. A plataforma tecnológica da *STYRON A-Tech<sup>TM</sup>* possibilita a eliminação dos típicos intercâmbios entre as principais propriedades do HIPS, inclusive dureza, brilho, rigidez e processabilidade. A sua ficha técnica pode ser consultada no anexo A. Para a realização dos cálculos estruturais, relativos a este material, demonstrados nos capítulos 3 e 4, foram considerados os valores da tabela 2.2.



<b>Propriedades Físicas</b>	<b>Valor típico (métrico)</b>	<b>Método</b>
<b>Densidade</b>	1,05 g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183
<b>Densidade aparente</b>	0,60 g/cm <sup>3</sup>	ISO 60
<b>Índice de fluidez (200 °C/5 kg)</b>	5 g/10min	ISO 1133

<b>Propriedades Mecânicas</b>	<b>Valor típico (métrico)</b>	<b>Método</b>
<b>Esforço de tensão (limite elasticidade)</b>	19,5 MPa	ISO 527-2/5
<b>Esforço de tensão (na rutura)</b>	22 Mpa	ISO 527-2/5
<b>Deformação por tensão nominal na rutura</b>	65%	ISO 527-2/5
<b>Módulo de flexão</b>	1950 MPa	ISO 178
<b>Módulo de tensão</b>	1750 Mpa	ISO 527-2/1
<b>Resistência à flexão</b>	38 Mpa	ISO 178
<b>Coefficiente de Poisson</b>	0.40	N/A

Tabela 2.2: Propriedades físicas e mecânicas do poliestireno *STYRON A-Tech™ 1200*.

### 2.1.5 ABS

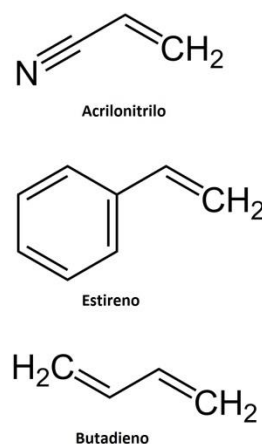
O polímero Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) foi descoberto pela primeira vez durante a Segunda Guerra Mundial, quando sua base, borracha de butadieno estireno (SBR - styrene-butadiene rubber), foi usada como alternativa à borracha comum. Comercialmente o acrilonitrilo butadieno estireno só se tornou disponível no início da década de 50 numa tentativa de obter as melhores propriedades do poliestireno e do acrilonitrilo estireno [13].

Este material pertence à família dos termoplásticos e é composto por três monómeros: acrilonitrilo, butadieno e estireno. As composições mais comuns possuem cerca de 50% de estireno mais butadieno e acrilonitrilo. É evidentemente possível gerir as percentagens da sua composição, resultando em muitos tipos diferentes de ABS com uma vasta gama de funções e aplicações. O acrilonitrilo contribui com resistência química e térmica, o butadieno dá ductilidade e resistência ao impacto e o estireno é o responsável pela superfície brilhante e faz com que o material seja maquinado de forma fácil e menos dispendiosa. Também foram desenvolvidas muitas misturas com outros materiais tais como cloreto de polivinilo e policarbonatos. O ABS apresenta ainda a vantagem de poder

ser utilizado por qualquer um dos processos de fabrico convencionais destinados aos termoplásticos.

O ABS tem imensas aplicações, tais como tubagens, instrumentos musicais (gravadores, clarinetes de plástico, peças de piano), cabeças de tacos de golf (devido à sua boa absorção de choques), diversos componentes destinados à indústria automóvel, dispositivos médicos, componentes de instrumentação eletrónica e num dos brinquedos mais famosos do mundo, o *Lego* [15].

Este polímero também é utilizado na produção de cápsulas T-Cork, portanto a sua aplicação nas novas gamas desenvolvidas neste projeto também será objeto de estudo. A sua ficha técnica pode ser consultada no anexo A. Para a realização dos cálculos estruturais, relativos a este material, demonstrados nos capítulos 3 e 4, foram considerados os valores da tabela 2.3.



**Fig. 2.7:** Monómeros do ABS.

Propriedades Físicas	Valor típico (métrico)	Método
Densidade	2,00 g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183

Propriedades Mecânicas	Valor típico (métrico)	Método
Esforço de tensão (limite elasticidade)	25 MPa	ISO 527-2/5
Deformação por tensão nominal na rutura	1,0-2,0%	ISO 527
Módulo de flexão	4000 MPa	ISO 178
Módulo de tensão	4750 MPa	ISO 527-2/1
Esforço de flexão	45 MPa	ISO 178
Coefficiente de Poisson	0.35	N/A

Tabela 2.3: Propriedades físicas e mecânicas do ABS RTP 699 X 81044 F Z.

### 2.1.6

## A CORTIÇA

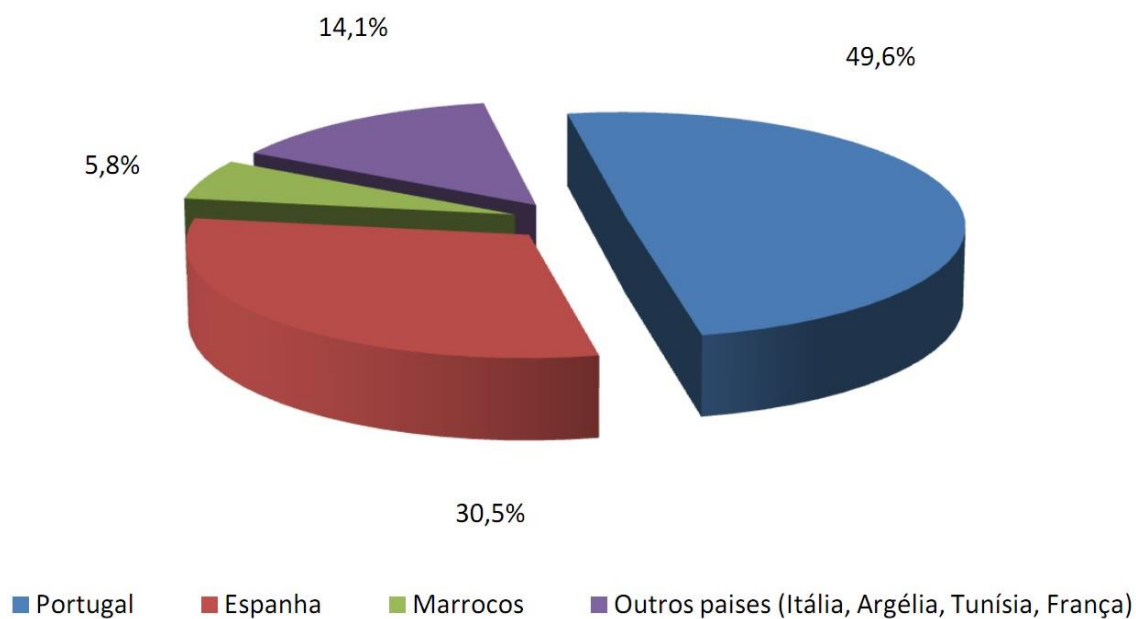
A cortiça é a casca do sobreiro retirada a cada nove anos, sempre entre maio e agosto, quando a árvore se encontra numa fase mais ativa do crescimento e se torna mais fácil descascá-la sem ferir o tronco. O trabalho é feito por profissionais especializados que, com uma precisão absoluta, conseguem manejar a única ferramenta usada neste delicado processo: um machado [17].

O uso da cortiça no quotidiano das civilizações teve início há já muitos séculos atrás, sendo usada pelos egípcios como rolhão de ânforas para transportar líquidos como vinho, azeite, água ou até frutos secos, mel ou cereais, de maneira a preservá-los e mantê-los protegidos e confinados. Também os gregos usaram a cortiça como boias das redes de pesca, seguindo-se aos romanos no séc. I a.C., que a usaram como cortiço para os enxames de abelhas. Além desses, outros foram os destinos dados à cortiça, como o emprego nos coletes salva vidas dos pescadores e o contributo dado no séc. II como produto medicinal contra a calvície [16].

A nível mundial Portugal lidera a produção de cortiça, constituindo os produtos diretos e indiretos da atividade corticeira uma das principais parcelas da sua carteira de exportações. É o único produto nacional que mantém o país na liderança mundial de um setor do mercado, tendo em atividade mais de 600 estabelecimentos fabris. Além desta vertente puramente económica (floresta e indústria), nunca é demais relembrar a função social e ecológica desta cultura (Montado de Sobreiro). Estas últimas manifestam-se fixando as populações nas zonas rurais e simultaneamente contrariando o avanço da desertificação e assegurando a estabilidade do ecossistema mediterrânico (fauna e flora) e em especial do Montado Alentejano [18]. Em 2010 registou-se uma produção mundial de aproximadamente 201428 toneladas de cortiça, Destacando-se Portugal com quase metade dessa produção (49,6%) [16], sendo, por isso, a cortiça parte integrante do património ecológico, natural e económico português.



**Fig. 2.8:** Prança de cortiça.



**Fig. 2.9:** Distribuição da produção média anual de cortiça a nível mundial no ano de 2010 (adaptado de [16]).

As empresas corticeiras distribuem-se por dez distritos, sendo Aveiro (Santa Maria da Feira) e Setúbal os maiores responsáveis pela geração de emprego neste setor, com 75% e 12% de um total de dez mil postos de trabalho criados pela indústria da cortiça. Segundo dados de 2008, existem aproximadamente 700 empresas a laborar no setor da cortiça em Portugal sendo produzidos cerca de 40 milhões de rolhas por dia, dos quais 35 milhões no Norte do país (apesar destes valores terem decaído nos últimos anos) [20].

Este tecido vegetal possui qualidades únicas inigualáveis e que até hoje nenhum engenho humano conseguiu imitar. As suas principais características são as seguintes [20]:

- Muito leve;
- Impermeável a líquidos e a gases;
- Elástica e compressível;
- Excelente isolante térmico e acústico;
- Combustão lenta;
- Muito resistente ao atrito.

Acima de tudo, a cortiça é um material cem por cento natural, reciclável e renovável três atributos imprescindíveis para uma sociedade como a atual que se deseja cada vez menos poluidora e mais amiga do ambiente [20].



**Fig. 2.10:**  
Descortiçamento do sobreiro.

Para adquirir as pranchas de cortiça é necessário recorrer ao processo de descortiçamento, que se tem lugar de nove em nove anos, sempre entre maio e agosto, quando a árvore se encontra numa fase mais ativa do crescimento. Para que o tronco de um sobreiro comece a produzir cortiça de forma rentável, para o seu descortiçamento são necessários entre 25 e 30 anos de espera. Nesta altura o sobreiro já deve ter um tronco com 70cm de perímetro quando medido a um metro e meio de altura em relação ao chão. Após iniciar-se o primeiro descortiçamento o tempo de vida de um sobreiro varia entre 150 e 200 anos.

A primeira camada de cortiça retirada do sobreiro tem o nome de “cortiça virgem”. Esta apresenta uma estrutura irregular, muito dura, sem elasticidade e praticamente impossível de manipular ou trabalhar. A finalidade da categoria desta cortiça é a trituração para obter cortiça granulada que não será utilizada no fabrico de rolhas mas será aplicada a outro tipo de produtos.

Nove anos depois, surge o segundo descortiçamento. Desta vez a cortiça obtida já é menos dura mas continua irregular. Apresenta uma qualidade média mas ainda não pode ser usada para a indústria rolheira. É chamada a cortiça “secundeira”.

Aos cerca de quarenta e cinco anos de idade, o sobreiro oferece pela primeira vez a cortiça “amadia” com qualidade suficiente para a produção de rolhas. A amadia tem uma estrutura e uma crosta regulares e uma barriga lisa. A partir desta fase, e em intervalos regulares de nove anos, o sobreiro está pronto para fornecer cortiça de qualidade durante cerca de um século e meio. Um sobreiro pode sofrer durante a sua vida, em média, dezasseis descortiçamentos.



**Fig. 2.11:** Os três tipos de cortiça obtidos durante os três primeiros descortiçamentos [10].

## 2.1.7 AS ROLHAS

No ano de 1680, apesar de a cortiça ter um uso pouco difundido na sociedade, o beneditino francês Dom Pierre Pérignon, procurador da abadia de Hautvillers, perto de Épernay (Champagne-Ardenne), deu um grande salto para o seu aproveitamento generalizado. Após ter verificado que os tampões de madeira saltavam frequentemente dos espumantes, o beneditino francês experimentou usar cortiça em substituição da madeira, obtendo resultados surpreendentes, tanto na conservação como na qualidade, que vieram a impor o uso generalizado de rolha de cortiça nos seus vinhos [21].

Em Portugal, só em 1770 é que a rolha começou a ser indispensável aquando do início do comércio do vinho do Porto, tendo como mais-valia a preservação e o amadurecimento na garrafa de vidro, apesar de ser produzida só através de manufatura artesanal. Porém, só no primeiro quarto do séc. XX é que a produção de cortiça começou a industrializar-se, tornando Portugal no primeiro produtor mundial.

A rolha é o produto mais famoso da indústria corticeira e, graças a uma crescente aposta em investigação e desenvolvimento (I&D), os grandes mercados internacionais têm à sua disposição uma gama completa deste produto, de inúmeros calibres, formatos e diferentes tipos de cortiça, de forma a adaptarem-se à enorme diversidade de garrafas e a todo o tipo de vinho [20].

Atualmente, no mercado das rolhas de cortiça encontram-se as seguintes sete categorias:

- Rolhas naturais;
- Rolhas naturais multipeça;
- Rolhas naturais colmatas;
- Rolhas de champagne;
- Rolhas técnicas;
- Rolhas aglomeradas;
- Rolhas capsuladas;

Dos sete tipos de rolha descrito, só interessam quatro tipos para este trabalho: as rolhas naturais, as naturais colmatadas, as aglomeradas e as capsuladas.



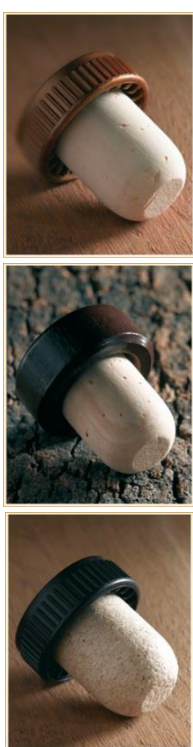
**Fig. 2.12:** Produção do corpo das rolhas de cortiça naturais através da furação da prancha de cortiça com uma broca.



### 2.1.8

## ROLHAS


## CAPSULADAS



**Fig. 2.13:** Rolhas T-Cork com corpo de cortiça colmatada, natural e aglomerada, respetivamente [21].

As rolhas capsuladas são exatamente o objeto de estudo em foco neste trabalho. T-Cork é a designação deste tipo de rolha que advém das *Top Series®* produzidas pela Raro, unidade industrial da Amorim&Irmãos. *Top Series®* é a exclusiva rolha de cortiça natural capsulada disponível para quatro segmentos de mercado distintos – *Prestige, Elegance, Premium* e *Classic Value*. Esta gama de rolhas capsuladas são o melhor e mais prestigiante vedante natural, testado e recomendado para as mais conceituadas bebidas espirituosas, pois alia *design* à superior performance técnica e ambiental da cortiça natural. As cápsulas podem ser de madeira, PVC, poliestireno, ABS, porcelana, metal, vidro ou outros materiais. A rolha capsulada é geralmente utilizada em vinhos licorosos/generosos, ou em bebidas espirituosas que quando saem para o mercado, estão prontos a serem consumidos. Os grandes exemplos são a generalidade dos Vinhos do Porto, Vinhos da Madeira Sherry, Calvados, Moscatel de Setúbal e também whisky, vodka, cognac, Armagnac, brandy, licores e aguardentes. Esta rolha é muito prática para os *barmen* e para os consumidores, pois permite uma reutilização fácil – um fator importante para garrafas cujo conteúdo é destinado ao consumo compassado [20].

As dimensões mais comuns deste tipo de rolha estão discriminadas na figura 2.14.



Dimensões a x d	27 x 20 mm
	27 x 19,5 mm
	27 x 18,5 mm
	24 x 17 mm
	18 x 13,5 mm
a = altura	
d = diâmetro	

**Fig. 2.14:** Dimensões mais comuns do corpo de cortiça das rolhas capsuladas.

Alguns modelos das T-Cork que possuem cápsulas de maiores dimensões necessitam de um furo cego no topo da rolha para que a união entre este e o espigão da cápsula seja mais eficaz. Com vista a normalizar as dimensões do furo, foi deliberado

internamente (pela Amorim&Irmãos) que o diâmetro do furo deve ser menor ou igual a 54% do diâmetro do corpo da rolha, mas nunca inferior a 4,5mm (figura 2.15), sendo que cada caso em que seja necessário transgredir estas normas, terá de ser analisado especificamente.



**Fig. 2.15:** Rolha T-Cork com furo cego.

Na Amorim&Irmãos, as “pranchas” resultantes do descortiçamento do sobreiro, são cortadas em tiras (designadas por “traços”), sendo estas perfuradas com uma ferramenta especial, a “broca”, para se obterem as rolhas cilíndricas. Trabalhadores qualificados conseguem produzir, por este processo manual, mais de vinte mil rolhas de cortiça natural por dia. Este processo, que pode, em alternativa, ser efetuado por máquinas semiautomáticas, resulta numa qualidade mais consistente, visto que cada trabalhador pode escolher visualmente os melhores segmentos do traço de cortiça, evitando os defeitos visíveis. Desta forma, obtém-se um equilíbrio ideal entre a quantidade e a qualidade. As rolhas são analisadas por sofisticados sistemas de visão, que as classificam com base na qualidade visual, podendo esta análise ser também efetuada por operadores altamente experientes. Muitos dos subprodutos da fase de brocagem são aproveitados para o fabrico de granulado de cortiça, o qual tem como uma das principais aplicações as rolhas técnicas. Apenas cerca de 25% da cortiça se destina ao fabrico das rolhas naturais. Após a brocagem, uma amostra estatisticamente significativa de cada lote é sujeita a análise por cromatografia gasosa, um processo altamente sofisticado e eficiente que visa a deteção de componentes indesejáveis, nomeadamente os precursores do tricloroanisol (TCA). Os lotes são sujeitos ao tratamento com o *ROSA Evolution®*, um inovador sistema patenteado pela Amorim&Irmãos [17].

### 2.1.9 ROLHAS NATURAIS



**Fig. 2.16:** Rolha natural da Amorim [29].





**Fig. 2.17:** Rolha natural colmatada Acquamark da Amorim [29].

Cada lote de rolhas é submetido a análise, e sempre que algum revela a mínima percentagem de TCA é imediatamente devolvido à procedência, para que lhe sejam aplicadas novas medidas corretivas. Independentemente dos resultados das análises, todas as rolhas dos lotes de qualidade superior são submetidas a um processo de destilação a vapor, o que representa uma garantia de qualidade acrescida com enormes vantagens para os produtores de vinho. Antes da fase final do processo, as rolhas naturais são retificadas, do que resulta um acabamento limpo e macio. Em seguida, são lavadas numa solução aquosa de peróxido de hidrogénio ( $H_2O_2$ ), secas em estufas industriais e estabilizadas. Todos estes processos têm como objetivo minimizar as possibilidades de contaminação microbiana [17].

Após confirmação de que as rolhas cumprem as especificações do cliente, elas são marcadas a fogo ou tinta aprovada pela *Food and Drug Administration* (FDA) e pelas as devidas normas europeias, e de seguida são as e envolvidas por uma fina película de parafina ou silicone para facilitar a sua introdução e extração da garrafa. Por fim, os lotes são embalados em sacos de polietileno com introdução de um conservante de uso generalizado na indústria vinícola ( $SO_2$  – dióxido de enxofre) e as embalagens são seladas [17].

### 2.1.10 ROLHAS AGLOMERADAS



**Fig. 2.18:** Rolha aglomerada Neutrocork da Amorim [29].

As rolhas aglomeradas são formadas por grânulos produzidos a partir dos subprodutos de cortiça de grande qualidade, resultantes das pranchas delgadas ou da brocagem das rolhas naturais. Para assegurar uma higiene em profundidade, a Amorim&Irmãos patenteou o processo de lavagem *INOS II*®, que bombeia água purificada sem cloro a 70°C. Este processo de lavagem provoca a contração e dilatação das células da cortiça, libertando os contaminantes.

Os grânulos destinados ao corpo das rolhas aglomeradas, são pulverizados e filtrados antes da aglomeração. Escolhem-se os que têm uma dimensão de 3 a 7 mm, por proporcionarem maior força e elasticidade à rolha. Todos passam pelo processo de destilação de vapor *ROSA Evolution*®. Posteriormente, o corpo é moldado individualmente ou cortado a partir de “bastões”

obtidos por extrusão. Ambos os processos de aglomeração usam aglomerante aprovado pela devida regulamentação [17].

As rolhas de aglomerado constituem uma solução económica para assegurar uma vedação perfeita por um período que não deverá superar, em geral, os 12 meses. Para além da vantagem económica que apresentam para vinhos de baixo preço e de alta rotação, estas rolhas têm ainda a vantagem de serem completamente homogéneas dentro de cada lote. Sendo este produto o resultado de um processo altamente industrializado, a única variação entre as classes destas rolhas é na escolha do calibre do grânulo de cortiça e, posteriormente, no tratamento de superfície utilizado [20].

### **2.1.11**

#### **AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA CORTIÇA**

Segundo a APCOR, na classificação generalizada é frequente encontrar as categorias definidas com as seguintes designações, segundo critérios visuais:

- Flor;
- Extra;
- Superior.

A cortiça “flor” é a que apresenta maior qualidade e a “superior” é classificada como a cortiça com menor qualidade.

A classificação faz-se com base numa amostra de várias rolhas (varia de produtor para produtor), com intervalos de variabilidade aceites pelo cliente [20].

A avaliação da qualidade da cortiça é feita a partir dos seguintes critérios [20]:

- Densidade – A densidade da cortiça vai determinar diretamente a elasticidade da rolha. A cortiça para rolhas naturais tem uma massa volúmica entre 160 kg/m<sup>3</sup> e 220 kg/m<sup>3</sup>, sendo, no entanto, possível encontrar densidades mais baixas ou mais altas do que estes valores em rolhas de menor qualidade;

- Humidade – A humidade nas rolhas de cortiça deverá estar situada entre os 5% e os 9%;
- Tratamento de Superfície – Existem dois tipos de produtos que se utilizam no tratamento de superfície: parafina e silicone. Os tratamentos com parafina visam a impermeabilização, para além de proporcionarem uma certa lubrificação. Os tratamentos com silicone têm apenas como objetivo a lubrificação da rolha, o que facilitará a sua utilização na altura do engarrafamento e na altura da abertura da garrafa. O tipo de tratamento a aplicar e a sua dosagem dependem do tipo de vinho, do tipo de garrafa, do tempo de estágio e do tipo de máquina de engarrafamento. Para os vinhos que necessitam de estágio em garrafa (superior a 18 meses), deverá fazer-se primeiro um tratamento de superfície com parafinas e em seguida aplicar-se um tratamento com silicone. Qualquer que seja o tratamento a aplicar, é necessário garantir que seja da maior qualidade, pois de nada interessa ter uma rolha de boa qualidade com um acabamento deficiente, capaz de debilitar a qualidade final desta;
- Força de extração – A força de extração da rolha tende a baixar com o tempo em garrafa. Os valores aconselhados, para cada tipo de rolha, situam-se entre os 20 e os 40 kg (24 horas após o engarrafamento);
- Padrão Visual – A classe visual das rolhas depende da quantidade e tamanho dos poros (lenticelas) que a sua superfície apresenta;
- Amostragem – Para as amostragens deve-se sempre ter em conta o tamanho dos lotes e seguir as tabelas de amostragem de uma norma aceite, como por exemplo a NP 2922 ou a norma ISO 3951.



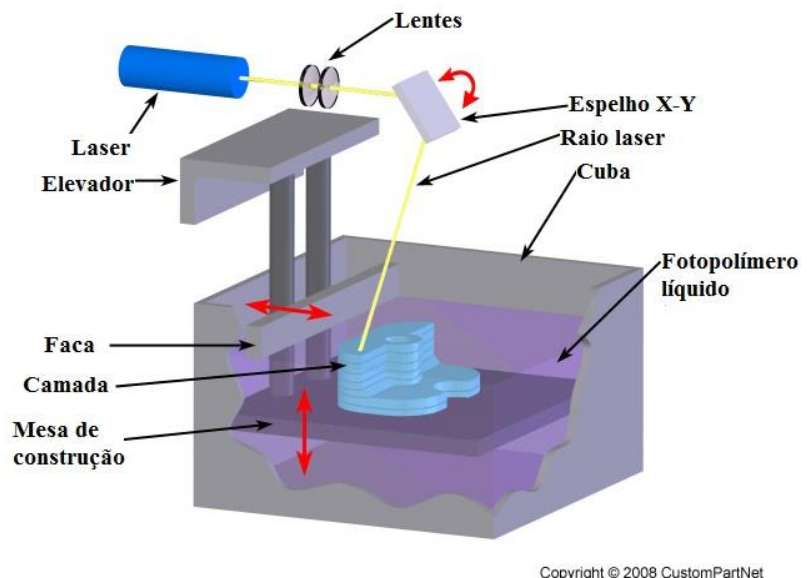
### 2.1.12

#### PROTOTIPAGEM

Para testar as soluções criadas para este projeto foi necessário recorrer a um método de prototipagem rápida. A prototipagem escolhida foi a estereolitografia (SLA). A estereolitografia gera peças a partir de ficheiros STL derivados do desenho CAD e para isso utiliza uma cuba com uma resina de um fotopolímero líquido curável por ultravioletas e um laser ultravioleta para construir as finas camadas da peça, uma de cada vez. Para cada camada, o feixe de laser traça uma secção transversal do padrão da peça sobre a superfície da resina líquida. A exposição aos raios ultravioleta cura e solidifica o padrão traçado sobre a resina que se une à camada inferior, desenhando assim a três dimensões a forma da peça pretendida.



**Fig. 2.19:** Exemplo de peças produzidas a partir de SLA.



**Fig. 2.20:** Processo e componentes de uma impressão por estereolitografia [22].

Através deste processo consegue-se obter protótipos com características e propriedades físicas muito próximas das do poliestireno e do ABS moldados por injeção. A resina responsável por esta semelhança é a *RenShape<sup>TM</sup> SL 7810*. A sua ficha técnica pode ser consultada no anexo A. Para a realização dos cálculos estruturais, relativos a este material, demonstrados nos capítulos 3 e 4, foram considerados os valores da tabela 2.4.

<b>Propriedades Físicas</b>	<b>Valor típico (métrico)</b>	<b>Método</b>
<b>Densidade</b>	1,13 g/cm <sup>3</sup>	N/A
<b>Viscosidade (27,78 °C)</b>	0,24 Kg/m.s	N/A
<b>Viscosidade (30 °C)</b>	0,21 Kg/m.s	N/A

<b>Propriedades Mecânicas para 90 minutos UV pós-Cura</b>	<b>Valor típico (métrico)</b>	<b>Método</b>
<b>Esforço de tensão</b>	35,9-51,0 MPa	ASTM D-638
<b>Módulo de tensão</b>	1792-2399 MPa	ASTM D-638
<b>Deformação por tensão (na rutura)</b>	10-20%	ASTM D-638
<b>Módulo de flexão</b>	1896-2399 MPa	ASTM D-790
<b>Esforço de flexão</b>	58,6-68,9 MPa	ASTM D-790
<b>Coefficiente de Poisson</b>	0.35	N/A

<b>Propriedades Mecânicas para 90 minutos UV + 2 horas @ 80°C pós-Cura</b>	<b>Valor típico (métrico)</b>	<b>Método</b>
<b>Esforço de tensão</b>	39,3-51,0 MPa	ASTM D-638
<b>Módulo de tensão</b>	1999-2399 MPa	ASTM D-638
<b>Deformação por tensão (na rutura)</b>	10-14%	ASTM D-638
<b>Módulo de flexão</b>	2096-2399 MPa	ASTM D-790
<b>Esforço de flexão</b>	62,1-68,9 MPa	ASTM D-790
<b>Coefficiente de Poisson</b>	0.35	N/A

Tabela 2.4: Propriedades físicas e mecânicas da resina *RenShape<sup>TM</sup> SL 7810*.

### 2.1.13

## SIMULAÇÃO NUMÉRICA

Os projetistas de moldes necessitam de reunir um conjunto de conhecimentos em diversas áreas. Devem ser capazes de, a partir do objeto a moldar, derivar os requisitos funcionais que o molde deve cumprir, e compreender de que forma estes se irão relacionar com os diversos fatores que condicionam o processamento dos materiais termoplásticos. Devem ser capazes de transformar esses requisitos em especificações de fabrico que garantam o correto funcionamento do molde. Essas especificações serão necessariamente obtidas com as tecnologias disponíveis, de modo a minimizar o tempo necessário ao desenvolvimento dos projetos [23].

Para simular a injeção e o comportamento estrutural das soluções finais deste trabalho foram utilizados dois *softwares* de simulação numérica: o *Autodesk Moldflow Adviser*<sup>®</sup> e o *Abaqus*<sup>™</sup>.

O *Autodesk Moldflow Adviser*<sup>®</sup> (*AMA*<sup>®</sup>) é uma ferramenta que permite estudar os processos de moldação por injeção que são utilizados atualmente, possibilitando uma exaustiva simulação e otimização da moldação, bem como do molde associado. Assim, é possível uma redução na fabricação de protótipos, bem como nos custos associados a alterações na ferramenta moldante. Estes fatores possibilitam também um menor tempo de produção, e consequentemente da sua introdução no mercado. O *AMA*<sup>®</sup> é uma versão um pouco limitada do pacote de *software Autodesk Moldflow*<sup>®</sup>. No entanto, permitiu fazer uma pequena abordagem aos possíveis problemas associados à injeção de cada peça das soluções finais. Através deste *software* de simulação pode-se fazer uma análise à geometria da peça que se pretende injetar a partir da importação do seu modelo CAD para o *AMA*<sup>®</sup>. Também se consegue ter dados aproximados sobre o tempo real de injeção de cada peça ou de todo o conjunto de peças a serem injetadas por cada ciclo de injeção. Para além disso, o *AMA*<sup>®</sup> faz a avaliação da melhor localização de ataque da peça, a previsão da qualidade, prevê a pressão de injeção, a temperatura na frente do fluxo, a orientação na camada, o tempo até atingir a temperatura de extração, as prisões de ar, a formação de linhas de soldadura, a contração volumétrica na extração e indica empenos, entre

várias outras informações que auxiliam o desenvolvimento do produto de modo a eliminar o máximo possível de variáveis suscetíveis de originarem problemas e imprevistos durante a fase de produção.

O *software Abaqus*<sup>TM</sup>, é um programa de análise numérica que utiliza o Método dos Elementos Finitos (MEF). É bastante versátil, pois possibilita a aplicação em diversas áreas da engenharia, como o setor automóvel e aeroespacial, investigações académicas e desenvolvimento tecnológico [24].

Os processos de simulação numérica são constituídos por três módulos principais:

- Módulo de pré-processamento;
- Módulo de processamento ou simulação;
- Módulo de pós-processamento.

O pré-processamento é composto pela definição da geometria da estrutura a analisar, das características dos materiais utilizados, dos carregamentos e das condições fronteira a que a estrutura vai estar sujeita, também define as interações entre as peças da assemblagem, o número de etapas em que se procede à análise e a sua natureza (linear ou não-linear). Neste primeiro módulo é definida a malha de elementos finitos que será aplicada no processamento do sistema de toda a estrutura com as respetivas cargas e condições fronteira. A definição da malha é muito importante porque define a exatidão dos resultados obtidos e consequentemente a sua aproximação à realidade.

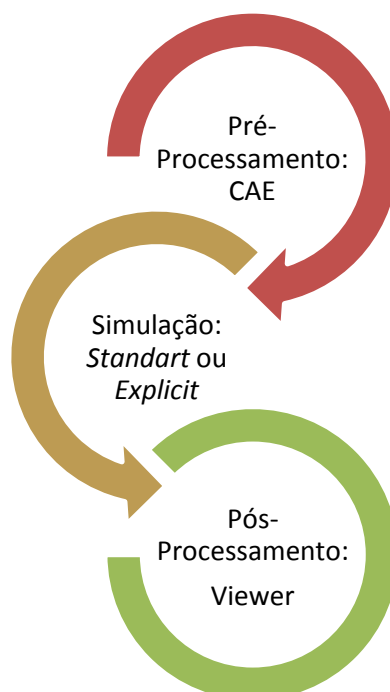
No módulo de processamento, é feita a assemblagem e resolução dos sistemas de equações, que permitem resolver o problema numérico definido no modelo criado durante o pré-processamento. Dependendo da complexidade do problema em análise, da definição da malha, e da capacidade do computador, a simulação pode demorar entre segundos a dias a completar. Inicialmente são analisados os ficheiros de entrada, criados no pré-processamento, e caso não existam erros, o software procede à análise numérica. Após esta análise são



criados os ficheiros de saída contendo os resultados [25].

No pós-processamento, o utilizador tem acesso aos resultados através de um ficheiro com todos os valores desejados organizados para que possa ser feita a sua leitura correta, ou então, os resultados poderão ser analisados através da interface gráfica que utiliza uma escala de cores aplicada à estrutura/peça que está associada aos valores obtidos de modo a representar visualmente os resultados, facilitando assim a perceção de todo o problema.

No caso do *Abaqus*<sup>TM</sup>, o módulo de pré-processamento é o CAE e o módulo de pós-processamento é o *Viewer*. O módulo de processamento é um processo de fundo, que limita o utilizador apenas à monitorização do processo. No *Abaqus*<sup>TM</sup>, o módulo de processamento está dividido em dois módulos, o *Standart* que utiliza a integração implícita para análises estáticas ou quasi-estáticas, e o *Explicit* que utiliza a integração explícita normalmente utilizada na análise de problemas não-lineares dinâmicos como é o caso da simulação de impacto. Para este trabalho o módulo utilizado foi o *Standart*.



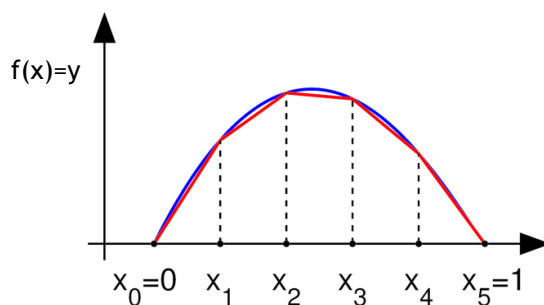
**Fig. 2.21:** Relação entre os módulos de processamento do *Abaqus*<sup>TM</sup>.

## 2.1.14 MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Dado que na realização deste trabalho foram utilizados dois softwares de simulação numérica que utilizam o Método dos Elementos Finitos, faz todo o sentido fazer aqui uma pequena abordagem ao método para se perceber melhor como é que estes softwares conseguem resultados tão próximos da realidade e de que modo são aplicadas as leis matemáticas e físicas.

A ideia básica subjacente ao MEF consiste na modelação de um problema genérico que envolve meios contínuos, através da análise de partes discretas desses meios, para os quais é possível conhecer ou obter uma descrição matemática do seu comportamento [25], ou seja, com o intuito de simplificar a análise do modelo, é feita uma divisão do todo em partes (elementos), cuja dimensão é definida pelo utilizador. Quanto maior for essa divisão, menor será a dimensão de cada elemento e melhor será a análise ao modelo, mas uma melhor análise requer um maior número de elementos e consequentemente mais cálculos. A este processo de análise chama-se “discretização”. À passagem de escala da análise ao nível de cada elemento finito como entidade individual para a análise do todo dá-se o nome de “assemblagem”.

Um exemplo básico para perceber o MEF, é a aplicação deste ao cálculo da área entre uma curva e um plano cartesiano.



**Fig. 2.22:** Curva definida por  $f(x)$ .

Se fosse pedido para calcular a área entre a curva azul e o eixo  $x$ , o valor exato da área seria dado por uma integração entre  $x_0$  e  $x_5$ . No entanto, obtém-se um valor muito aproximado dividindo essa mesma área em elementos com uma geometria simples cuja área é facilmente calculada. Neste caso foram utilizados trapézios retângulos.

A integração da função  $f(x)$  seria definida por:

$$S_1 = \int_0^1 f(x)dx = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=0}^n f(x_i^*)\Delta x$$

Em que  $f(x)$  é a função representada pela curva azul e o integral representa a área  $S_1$  entre a curva azul e o eixo  $x$ .

Pelo MEF, a área  $S_2$  aproximada de  $S_1$  é dada pelo simples somatório das áreas dos cinco trapézios:

$$\sum_{i=0}^5 \left( \frac{f(x_i) + f(x_{i+1})}{2} \times (x_{i+1} - x_i) \right)$$

O erro associado a esta aproximação é a área a branco entre a linha azul e os lados superiores dos trapézios, que correspondem à linha vermelha. Esse erro é dado pela subtração:

$$Erro = S_1 - S_2$$

Assim, se se aumentar o número de trapézios, aumenta o número de parcelas do somatório,  $S_2$  também aumenta e consequentemente o erro associado à aplicação do MEF diminui.

Se  $N$  for o número de trapézios, então no limite:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \left( \sum_{i=0}^N \left( \frac{f(x_i) + f(x_{i+1})}{2} \times (x_{i+1} - x_i) \right) \right) = S_1$$

O MEF é atualmente umas das mais poderosas ferramentas de resolução de problemas de análise de estruturas, uma vez que antes do seu aparecimento e desenvolvimento, esta análise era feita através da resolução direta de sistemas de equações de derivadas parciais que regem o fenómeno, considerando as condições fronteira convenientes no problema em questão, o que corresponde a uma extrema complexidade [25].



# SISTEMAS DE ACOPLAMENTO E DE DETEÇÃO DE VIOLAÇÃO APLICADOS À INDÚSTRIA ROLHEIRA



### 2.2.1 CONCEITO

Sistema de acoplamento é um conjunto mecânico utilizado para acoplar dois eixos para efeitos de transmissão de potência (figura 2.23). Os acoplamentos mecânicos normalmente não permitem a desconexão dos eixos durante o movimento, no entanto, há um limite de binário definido para cada tipo de acoplamento, podendo ocorrer escorregamento ou até mesmo desconexão quando esse limite é excedido.

A finalidade principal deste tipo de uniões é ligar duas peças com movimento de rotação, mas no caso das rolhas capsuladas, o acoplamento que une a rolha de cortiça à cápsula tem como finalidade transmitir da cápsula para a rolha de cortiça solicitações de torção e/ou tração.



**Fig. 2.23:**  
Acoplamento  
mecânico destinado à  
transmissão de  
potência através do  
movimento à torção.



**Fig. 2.24:** Representação das solicitações à tração e torção utilizados para retirar uma rolha capsulada de um gargalo.

Um sistema de detecção de violação tem como objetivo permitir ao consumidor identificar uma tentativa anterior de violação. Existem várias maneiras de implementar um sistema DV (Detecção de Violação), desde sistemas mecânicos irreversíveis até às mais diversas etiquetas com modos de atuação altamente sofisticados.





## **2.2.2**

### **ESTADO DA ARTE**

Ao desdobrar o tema “Desenvolvimento de uma nova cápsula para rolhas T-Cork” identificam-se os dois pontos em que se focam os principais objetivos da dissertação: o desenvolvimento de um novo acoplamento entre a rolha de cortiça e a cápsula, e de um sistema DV incorporado na cápsula.

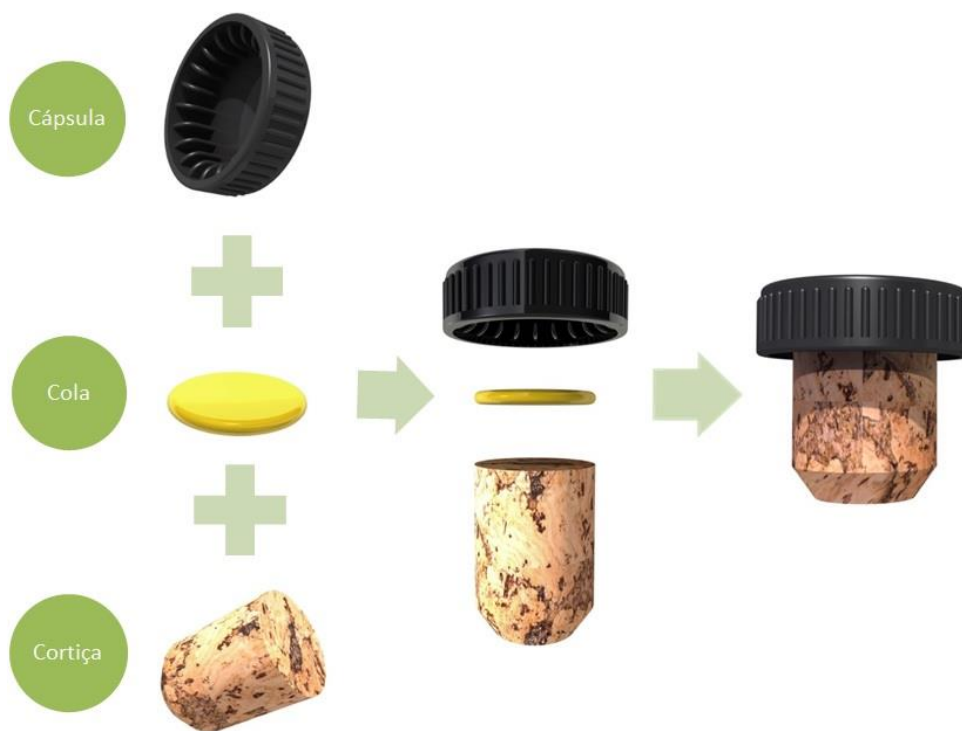
## **2.2.3**

### **ACOPLAMENTO MECÂNICO**

Na atualidade o mercado das rolhas de cortiça apresenta um leque de soluções muito reduzido que respondam aos dois pontos acima descritos, o que acaba por evidenciar a inovação determinada por este projeto. Em consequência das questões ecológicas e dos problemas derivados das alterações de temperaturas a que as rolhas capsuladas estão sujeitas desde a sua produção até chegar ao consumidor final foi necessário repensar o processo de união entre a rolha de cortiça e a cápsula. O único processo de união entre as duas partes a ser aplicado neste momento em toda a indústria rolheira recorre à utilização de cola.

Segundo o Código Internacional das Práticas Rolheiras (CIPR), a atividade “colagem das cápsulas” está integrada do seguinte modo:

1. Controlo de receção dos corpos: procedimento a seguir pela empresa de modo a garantir o respeito das especificações dos produtos;
2. Escolha dos corpos (operação facultativa): classificação e separação dos corpos num determinado número de classes segundo o seu aspeto visual;
3. Colagem das cápsulas: operação que consiste em colar a cápsula ao corpo da rolha de modo a garantir um arrolhar/desarrolhar repetitivo;
4. Escolha de rolhas: operação com o objetivo de separação das rolhas mal coladas;
5. Armazenamento das rolhas: período de armazenamento das rolhas conservando as suas características;
6. Transporte: mudança de local e/ou expedição das rolhas colocando-as à disposição dos clientes.



**Fig. 2.25:** Esquematização do processo atual de colagem das rolhas capsuladas atualmente.

Existe no mercado outra forma de unir a rolha à cápsula, mas neste caso a rolha não é feita a partir da cortiça mas sim a partir de um material sintético, ou seja, o material da cápsula continua a ser o mesmo polímero das rolhas de cortiça capsuladas mas o material vedante é uma espécie de borracha que é injetada sobre a parte interior da cápsula, sendo que neste caso a cola é substituída pela adesão entre os dois materiais. O material em causa é um polímero da família dos elastómeros, que possui um tempo de vida útil elevado e resiste ao longo dos tempo às solicitações a nível de esforços a que uma rolha está sujeita durante todo o seu tempo de utilização [27].



**Fig. 2.26:** Rolha sintética.

## **2.2.4**

### **SOLUÇÕES ANTI-CONTRAFAÇÃO E DETECÇÃO DE VIOLAÇÃO**

O desenvolvimento deste trabalho remeteu à pesquisa sobre problemas associados à violação de produtos, mais especificamente embalagens de bebidas, que muitas vezes resultam em contrafações, quer do conteúdo da embalagem quer do respetivo vedante. Sendo assim, fará todo o sentido, em desenvolvimentos futuros, estudar a aplicação de soluções anticontrafação nas rolhas T-Cork em conjunto com o sistema de deteção de violação.

O problema da contrafação, na indústria referida, pode levantar-se relativamente a dois produtos distintos: a bebida presente na embalagem original, cuja vedação é garantida pela rolha e a rolha propriamente dita.

Em relação à contrafação da rolha, o fabricante da rolha pode protegê-la, dificultando a sua contrafação, integrando na mesma um ou mais componentes cuja cópia seja difícil. Entre estes, as etiquetas, nas mais diversas versões utilizadas atualmente, são o melhor exemplo. Como variantes na aplicação destas podem ser indicados os códigos de barras, os hologramas, a identificação em série, tintas especiais e marcadores sintéticos, radiofrequência, DNA, tecnologias 3D, impressões digitais magnéticas, etc..

Se a contrafação em causa for do conteúdo da embalagem (bebida), para proteger a bebida, o fabricante da rolha pode dotá-la de um sistema que permita detetar se, antes do cliente legal a ter removido, já foi violada, ou seja, se houve alguma tentativa, falhada ou com sucesso, de a remover anteriormente. É exatamente desta situação que surgem as soluções de deteção de violação.

A deteção da violação da rolha permite, assim, ao cliente legal, admitir a possibilidade de o conteúdo da embalagem ter sido alterado ou substituído, o que poderá ser considerado, neste caso, como a contrafação do mesmo.

As rolhas de cortiça capsuladas constituem um dos campos possíveis de aplicação de sistemas de deteção de violação, pois a cápsula é adequada para a eventual integração de componentes que, dependendo da respetiva geometria, da forma como são ligados ou da posição que adotam,

desempenhem a função referida, quando, dependendo da solução, alteram a geometria, a forma de ligação ou a posição no conjunto aquando do ato de violação, alteração essa que, ao tornar-se visível e sendo irreversível, permite concluir sobre a existência dessa mesma violação.

## 2.2.5

### CONTRAFAÇÃO

Em relação aos sistemas anticontrafação, o mercado apresenta um conjunto de soluções interessantes. A maior parte destas soluções centram-se na produção de etiquetas de difícil clonagem ou mesmo de clonagem impossível. [1] O problema associado a uma contrafação bem sucedida é o facto dos contrafadores poderem colocar no mercado um produto contrafeito a partir de uma clonagem indetetável ao longo de toda a cadeia de comercialização e é nesse contexto que a adversidade da contrafação e violação de produtos comerciais tem sido alvo de investigação há vários anos, desde o código de barras cujos primeiros desenvolvimentos surgiram em 1948 até às recentes etiquetas constituídas por uma matriz polimérica a três dimensões. Assim, de entre as várias tecnologias adotadas atualmente para a conceção de etiquetas anticontrafação, destacam-se:

- Os códigos de barras;
- Os hologramas;
- A identificação em série;
- Tintas especiais e marcadores sintéticos;
- A identificação por radiofrequências (RFID);
- As etiquetas de DNA;
- As etiquetas 3D e as impressões digitais magnéticas.



**Fig. 2.27:** Código de barras.



**Fig. 2.28:** Holograma.

Os códigos de barras (figura 2.27) contêm geralmente uma codificação universal e têm a desvantagem de poderem ser facilmente copiados pelos contrafadores, tal como a identificação em série e os hologramas (figura 2.28). Estas três soluções são exemplos de tecnologias que podem ser atrativas por serem simples e de baixo custo mas no entanto apresentam uma grande facilidade em serem clonadas. Para além disso, a verificação da autenticidade dos hologramas depende exclusivamente dos diferentes utilizadores da cadeia de comercialização, enquanto que as tintas especiais e os marcadores sintéticos dependem de tecnologias e meios de verificação, como por exemplo a luz ultravioleta, nem sempre acessíveis ao longo desta mesma cadeia.

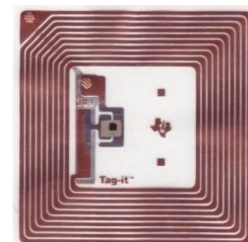
A identificação por radiofrequência, RFID (Radio-Frequency Identification) é uma tecnologia que utiliza sinais de rádio para recuperar e armazenar dados remotamente através de etiquetas RFID que contêm um microchip com informações do produto ligado a uma antena que é alimentada por um campo eletromagnético quando aproximado do respetivo leitor. Este método já apresenta mais dificuldades para ser clonada por contrafactores, pois exige a replicação da informação do microchip da etiqueta original e a sua reprodução num microchip falso. No entanto, tem a desvantagem de ser um produto de alto custo e de gerar preocupações com questões de privacidade.

As etiquetas de DNA surgem no âmbito das aplicações de segurança de biotecnologia de DNA incorporado. Estas têm a vantagem de serem invisíveis e facilmente aplicáveis num vasto leque de produtos. No entanto, este método é naturalmente dispendioso, já que requer a criação de bases de dados complexas e de grandes dimensões para armazenar a informação prévia das etiquetas a colocar. Para além disso, o método de verificação de autenticidade de uma potencial etiqueta falsa é, por si só, complexo e de difícil acesso.

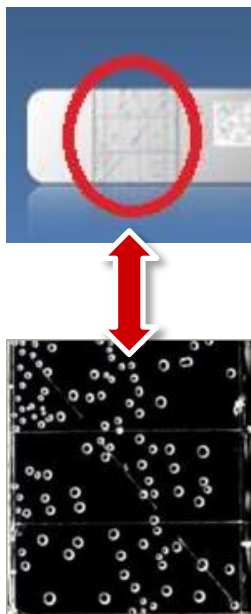
Em relação às etiquetas 3D, o conceito baseia-se na construção de dispositivos únicos, praticamente impossíveis de clonar, nem mesmo pelos próprios fabricantes. A empresa *ProofTag SAS* foi a responsável pelo desenvolvimento do produto. Este é baseado em etiquetas de leitura ótica em que a autenticidade e não violação do produto podem ser controladas através de uma aplicação disponível em dispositivos móveis. As etiquetas são constituídas por uma matriz polimérica 3D com bolhas de ar aleatoriamente distribuídas durante a sua solidificação. Assim, cada etiqueta é única na sua composição e devidamente identificada numa base de dados. Quando o produto-alvo é então etiquetado, a informação relevante passa a estar armazenada na base de dados, e a etiqueta pode ser lida opticamente por um simples leitor ótico que interpreta o padrão único das bolhas de ar e envia esta informação à base de dados pela internet, confirmando a autenticidade do produto ao longo da cadeia comercial. [2]



**Fig. 2.29:** Selo fiscal do vinho com identificação em série.



**Fig. 2.30:** Etiqueta RFID.



**Fig. 2.31:** “Bubble tag”, etiqueta constituída por uma matriz polimérica 3D com bolhas de ar aleatoriamente distribuídas durante a sua solidificação.

Um outro conceito similar, mas mais arrojado, foi desenvolvido pela *Singular ID*, posteriormente adquirida pela *Bilcare Ltd.*, dando origem à divisão *Bilcare nonClonable Security Technologies*. Este conceito é baseado num sistema de identificação que utiliza dois elementos identificativos em simultâneo, sendo que um pode ter a forma de um simples código de barras ótico, o segundo elemento consiste numa matriz contendo uma distribuição aleatória não clonável de nano/micropartículas magnéticas ou magnetizáveis, situadas a uma distância fixa do código de barras. Naturalmente, cada etiqueta única possui uma referência única na base de dados central. O leitor apropriado e portátil, quando devidamente posicionado junto da etiqueta reconhece o padrão ótico, bem como o padrão magnético nela contido e envia esta informação à base de dados central por GPRS, obtendo-se assim a confirmação da autenticidade do produto. [3]

Relativamente a soluções incorporadas nas rolhas apenas, existe, para além das supracitadas tecnologias de marcação com DNA e da tecnologia RFID, uma tecnologia desenvolvida pelo laboratório americano Argonne National Laboratory, que consiste na inclusão de um chip na rolha, de forma a que se a garrafa for aberta, este chip perde a informação, sendo assim detetável uma potencial abertura indesejada. Este método comporta os custos de alguns dólares por etiqueta, bem como o custo e trabalho da programação do chip. [4] Existem também outras tecnologias avançadas que estão a ser desenvolvidas no âmbito da contrafação de vinhos, como sejam a construção de uma base de dados de "fingerprints" químicos de vinhos, a utilização de narizes eletrónicos por otimização e sistematização de processos cromatográficos, e a análise de isótopos estáveis. Estas tecnologias porém, são casos pontuais e estão longe de terem viabilidade prática e económica para a sua comercialização. Outro sistema em desenvolvimento na área alimentar que se assemelha ao pretendido no projeto *WineProof*, mas numa área de aplicação diferente [9], é um dispositivo completamente integrado num vedante plástico, que após acionado muda de cor e dá indicação do fim do prazo de validade do produto contido no seu interior. Este tem uma data de operação demasiado curta, 6 meses, o que impossibilita

ser uma mais-valia na anticontrafação de vinhos e licores gourmet, que possuem estágios de maturação de vários anos.

Para além das etiquetas existem outras tecnologias direcionadas para a deteção de violação aplicadas às garrafas das mais diversas bebidas. Encontram-se frequentemente os invólucros em plástico, papel, PVC, alumínio, ou até mesmo em lacre de cera que obrigam o consumidor a destruí-los para conseguir chegar à rolha e proceder à extração da mesma.

Mas se se virar a atenção para o mercado dos vedantes sintéticos, são encontrados exemplos de sistemas de DV e alguns deles bastante sofisticados.

O sistema *screw cap* adotado por muitas marcas de bebidas é um vedante sintético composto por duas partes ligadas através de um pequeno picotado (capilares) que facilmente é destruído na tentativa de abertura. Este vedante é roscado na parte interior da sua parte superior fazendo com que quando se tente desenroscar o vedante, a parte inferior que está segura através de um encaixe na garrafa/embalagem fique presa e quebre a sua união à parte superior, destruindo os capilares e deixando a parte inferior fixa à garrafa, provando que a garrafa já foi aberta. Em geral, os sistemas *screw cap* são feitos em metal ou plástico e têm algumas características geométricas que tornam o seu processo de fabrico relativamente dispendioso. Estas características geométricas levantam alguns problemas ao nível da produção que residem principalmente nos vedantes de plástico que possuem rosca e capilares que unem a parte superior do vedante à sua parte inferior.

Muitas vezes associado ao sistema *screw cap*, está o sistema *Roll on Pilfer Proof (ROPP)*. As cadeias de engarraamento que adotam este sistema não recebem o vedante no seu estado final, ou seja, recebem a forma semiacabada do vedante por parte do produtor de vedantes e depois é realizada uma operação que molda a rosca à volta do gargalo após o engarraamento da bebida. Neste processo as tampas são fabricadas em alumínio e podem ser litografadas no seu exterior, a fim de enfatizar seu design [5].

## 2.2.6 DETEÇÃO DE VIOLAÇÃO



**Fig. 2.32:** Invólucro de PVC.



**Fig. 2.33:** Invólucro de alumínio.



**Fig. 2.34:** Invólucro de cera de lacre.



**Fig. 2.35:** *Screw cap* em plástico.

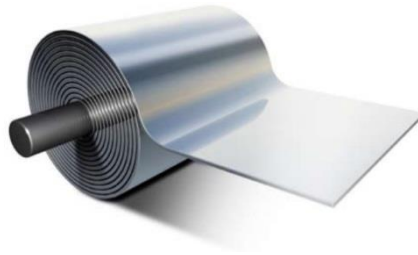


**Fig. 2.36:** *Screw cap* em alumínio.



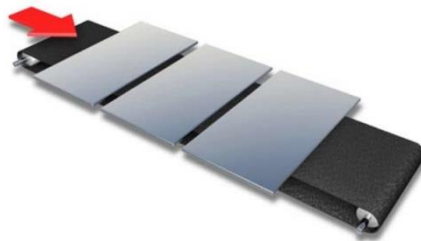
Segundo a *Metal Packing Manufacturers Association*, o sistema *ROPP* para vedantes em alumínio é definido pelo seguinte processo [6]:

1. A cadeia de produção dos vedantes é iniciada na fábrica dos produtores dos vedantes com rolo de alumínio laminado;



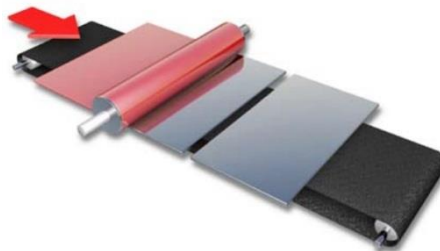
**Fig. 2.37:** Rolo de alumínio (adaptado de [6]).

2. Na segunda fase o rolo é cortado em grandes tiras de iguais dimensões;



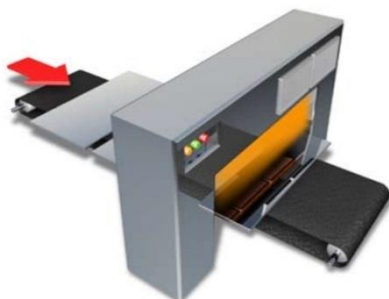
**Fig. 2.38:** Tiras de alumínio (adaptado de [6]).

3. Depois, é aplicado um revestimento de proteção em *spray* na superfície que será a parte interior do vedante e é aplicada tinta na superfície exterior;



**Fig. 2.39:** Revestimento de proteção e pintura das tiras de alumínio (adaptado de [6]).

1. De seguida, as tiras de alumínio tratadas e pintadas são inseridas num forno a fim de secarem;



**Fig. 2.40:** Secagem das tiras de alumínio (adaptado de [6]).

2. Na quinta fase são cortados vários discos através de uma prensa de corte e transformados em copos rasos;



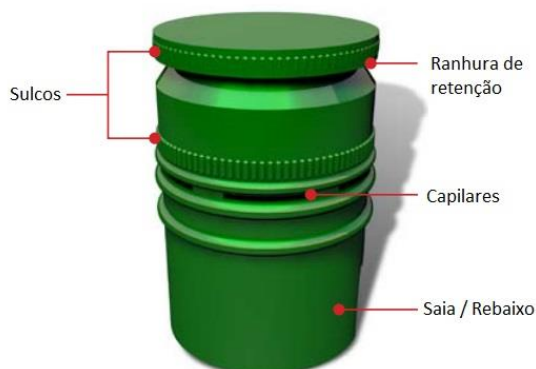
**Fig. 2.41:** Corte das tiras de alumínio para a formação dos discos (adaptado de [6]).

3. Depois, os copos rasos sofrem estampagens sucessivas até adquirirem o diâmetro e a espessura do vedante semiacabado;



**Fig. 2.42:** Estampagem dos discos para formar o “copo” final (adaptado de [6]).

1. De seguida, são formadas características como os sulcos para aumentar atrito entre o vedante e os dedos do utilizador, os capilares e a ranhura de retenção;



**Fig. 2.43:** Formação dos sulcos, ranhura de retenção e capilares (adaptado de [6]).

2. Na oitava fase é colocado um pequeno disco selante com o intuito de vedar mais eficazmente a garrafa;



**Fig. 2.44:** Colocação de um disco vedante na ranhura de retenção (adaptado de [6]).

3. Por fim, tem-se a forma final do produto semiacabado e pronto para o engarrafamento. Após o vedante semiacabado ser colocado na garrafa, é pressionado a toda a volta de modo a adquirir a forma da rosca do gargalo da garrafa.



**Fig. 2.45:** Aspeto final de um vedante ROPP (adaptado de [6]).

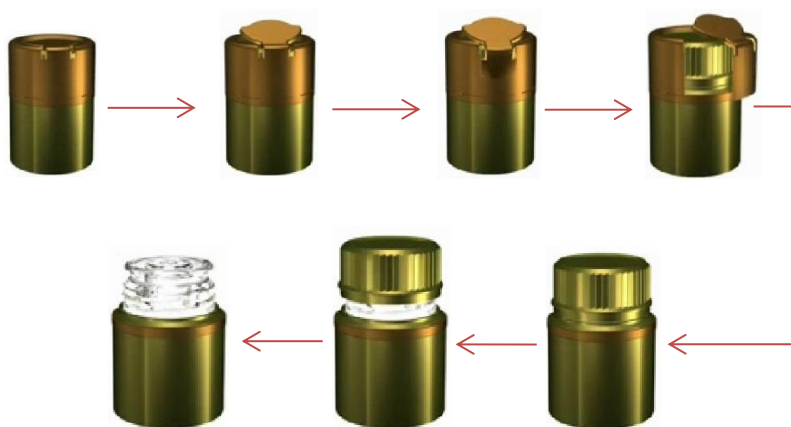
Existem várias técnicas associadas ao *ROPP* para que fique facilmente visível uma prova de que a garrafa já foi aberta ou de que houve uma tentativa de abertura. Estes dispositivos podem ser internos ou externos.

Na técnica que utiliza um dispositivo interno, o dispositivo físico que serve de prova só fica visível depois da primeira abertura. Quando a tampa é desenroscada corretamente, uma faixa colorida aparece em torno da base da tampa. Quando o frasco é selado novamente, a banda colorida é então visível à volta da circunferência da saia (parte inferior) da tampa, o que dá ao consumidor provas irrefutáveis de que a garrafa tenha sido aberta (figura 2.46).



**Fig. 2.46:** Faixa vermelha que prova que a garrafa já foi aberta (adaptado de [7]).

Nos dispositivos externos é utilizada uma cápsula exteriormente visível que é completamente destruída para se conseguir chegar à tampa e poder desenroscá-la. Assim, a partir do momento em que se retira a tampa da garrafa a cápsula exterior que a envolvia vai ser substituída por um espaço vazio, provando que a garrafa já foi aberta, tal como esquematizado na figura 2.47.



**Fig. 2.47:** Processo de abertura de um vedante com dispositivo de DV externo (adaptado de [7]).

Um sistema que conjuga a deteção de violação com a anticontrafação e que é muitas vezes implementado com o sistema *ROPP*, em especial nas bebidas espirituosas, é o chamado *non-refillable system*. Este dispositivo evita que os contrafactores voltem a encher as garrafas com qualquer outro líquido, fazendo com que cada garrafa só possa ser utilizada uma vez. Deste modo, é assegurado que a garrafa de uma



**Fig. 2.48:** Estrutura de um dispositivo *non-refillable* da marca *Guala* (adaptado de [7]).



**Fig. 2.49:** Tapa da marca *Compal* com sistema de DV que utiliza e emissão de um som característico como alerta para o utilizador.

determinada marca, possui sempre a bebida autêntica dentro da mesma.

Existem vários graus de segurança para estes dispositivos e quanto mais seguro e eficaz for, mais elevado é o preço. Estes sistemas são bastante complexos e alguns deles chegam mesmo a atingir os treze componentes num só dispositivo. A geometria do seu interior e a disposição dos seus componentes fazem com que haja um bom controlo do caudal de saída da bebida, evita o típico pingo que escorra sobre o gargalo após o utilizador se servir da bebida e ainda impossibilita o reenchimento da garrafa através de uma bola de plástico ou vidro que encaixa num orifício do gargalo quando a garrafa está posicionada verticalmente com o gargalo virado para cima.

Outra forma de informar o utilizador que a garrafa está a ser aberta pela primeira vez é através da emissão de um som. As cápsulas derivadas deste sistema são deslizam sobre a rosca do gargalo da garrafa e possuem na sua zona central um pequeno relevo convexo que permite um certo grau de flexibilidade devido à sua espessura reduzida. Quando a bebida é engarrafada, o seu interior é exposto a uma baixa pressão que obriga o relevo da cápsula a deformar-se elasticamente em direção ao interior da garrafa, ficando devidamente vedada para que após o engarramento a garrafa não volte a ganhar pressão. Depois do utilizador abrir a garrafa a cápsula deixa de estar sujeita à baixa pressão e passa a estar à pressão ambiente, voltando à sua forma inicial. Quando este processo de abertura acontece, a cápsula liberta um som característico que informa o utilizador que a garrafa está a ser aberta pela primeira vez. O inconveniente deste método é o facto da informação ser momentânea e não ser visível, ou seja, se o utilizador estiver num ambiente ruidoso não consegue receber a informação devidamente.



# CAPÍTULO 3





## DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO I: SISTEMA DE ACOPLAMENTO

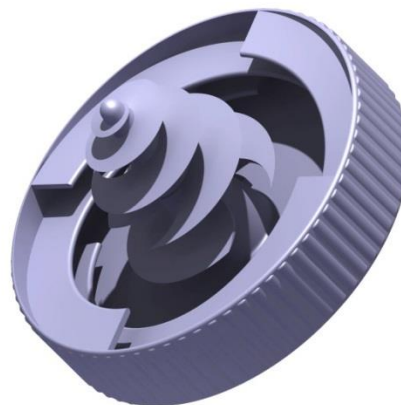


### 3.1 CRIAÇÃO DE CONCEITOS

Quando foi iniciada a procura pela solução que substituiria a cola nas rolhas T-Cork, foram colocadas duas hipóteses para a forma como a cápsula reteria a rolha no movimento à tração. A primeira hipótese seria atacar a rolha pelo seu interior, ou seja, era feito um furo cego no centro da rolha e seria projetado um dispositivo que entraria nesse furo e atuaria sobre as paredes do furo de forma a conseguir reter a rolha à tração com a força necessária. A segunda hipótese seria atacar a rolha por fora, ou seja, através das paredes exteriores da rolha. A principal vantagem desta segunda hipótese seria a possibilidade aplicar um acoplamento que atuaria por pressão sem ser necessário maquinar a rolha.

Assim, as primeiras ideias para as duas hipóteses foram desenhadas a partir do *software* de modelação 3D *Catia™ V5 R20*.

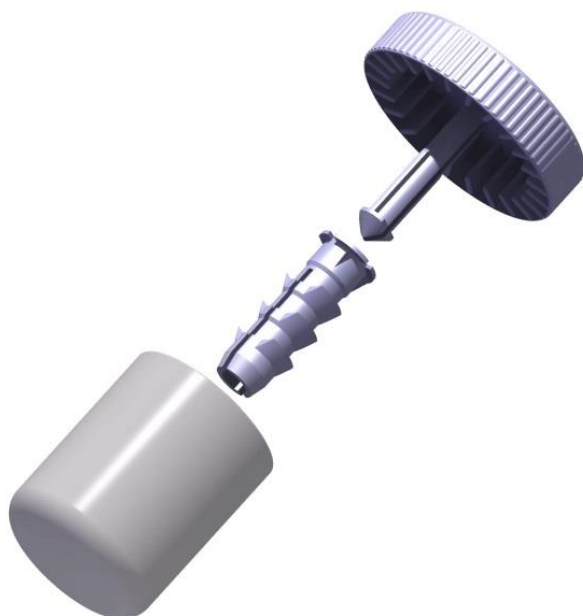
O primeiro conceito desenhado foi uma cápsula com um espigão que tinha uma rosca incorporada com dentes desenhados no sentido inverso na rosca. O propósito deste tipo de rosca seria roscar na rolha no sentido horário até que a face superior da rolha ficasse coincidente com a face interior da cápsula que é paralela à face superior da rolha. Quando se tentasse rodar a cápsula no sentido anti-horário, os dentes inversos cravariam na rolha impedido a cápsula de rodar no sentido anti-horário. Assim, a cápsula ficaria impedida de se movimentar tanto à tração como à torção (figura 3.1).



**Fig. 3.1:** Primeiro conceito criado para o acoplamento.

Rapidamente se identificaram todas as características desta solução que a tornavam impraticável. Dificilmente os dentes inversos agarrariam a rolha, a geometria da rosca era frágil e toda a geometria desta solução seria impossível de obter por moldação por injeção.

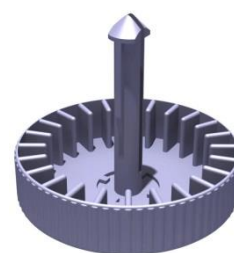
Foi então desenhada outra solução que desta vez era composta por dois componentes: uma bucha e a cápsula exterior com um pino incorporado (figura 3.3). O objetivo desta solução era que o atrito à tração e à torção fosse efetuado pelos dentes da bucha. O pino entraria pela bucha e encaixaria de forma a deixar a cápsula sem qualquer grau de liberdade para se movimentar.



**Fig. 3.3:** Segundo conceito criado para o acoplamento.

O problema inerente a esta solução era a transmissão de movimento à torção. A geometria dos dentes não era suficiente para conseguir impedir a rolha de rodar sobre o seu eixo. Para resolver este problema, ficou decidido fazer um protótipo em que a cápsula possuiria lâminas radiais no seu interior que cravariam na rolha radialmente.

No projeto da solução que atacaria a rolha pelo lado exterior, sem ser necessário fazer um furo na rolha, foram criadas duas meias anilhas que agarravam a rolha à tração e à torção. Para esta solução surgiram dúvidas em relação à *performance* das anilhas à tração e então foi feito um rasgo à volta da rolha



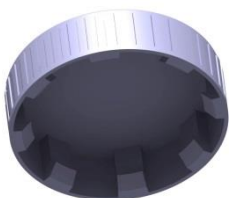
**Fig. 3.2:** Cápsula do segundo conceito criado para o acoplamento.



**Fig. 3.4:** Bucha do segundo conceito criado para o acoplamento.



**Fig. 3.5:** Meias anilhas do terceiro conceito criado para o acoplamento.



**Fig. 3.6:** Cápsula do terceiro conceito criado para o acoplamento.

de modo a encaixar as anilhas nesse rasgo, aumentando assim a sua área de contacto com a rolha. A cápsula possuía uma geometria interior que encaixava nas anilhas ficando sem qualquer grau de liberdade (figura 3.7).



**Fig. 3.7:** Terceiro conceito criado para o acoplamento.

A geometria das meias anilhas levantou algumas questões em relação à sua eficácia à torção. Foi então que se achou oportuno adotar as lâminas radiais nesta solução, tornando a geometria das meias anilhas muito mais simples, sem excêntricos radiais.



## 3.2 PROTÓTIPOS

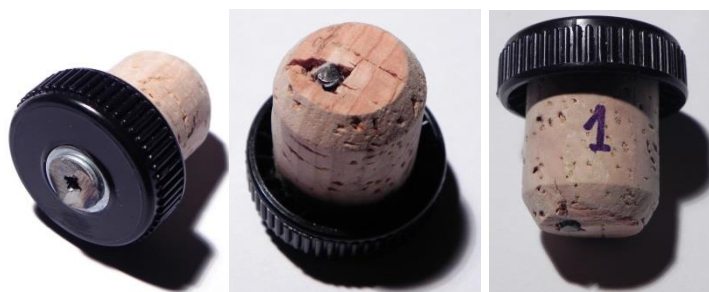
A necessidade testar soluções levou à criação dos primeiros protótipos. Feitos com diversos objetos, conseguiu-se obter seis protótipos que ajudaram a crivar soluções e a identificar pontos a otimizar.

Na figura 3.8 estão todos os materiais utilizados na construção dos seis protótipos.



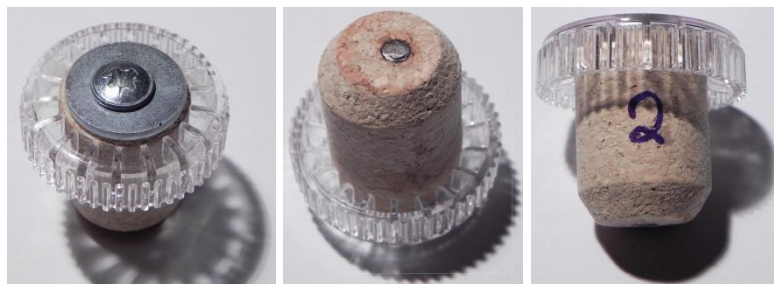
**Fig. 3.8:** Componentes utilizados na construção dos primeiros protótipos.

O protótipo nº1 é constituído pela bucha metálica e pelo parafuso que entram no furo cego previamente feito numa furadora. Obviamente que é uma solução bastante reforçada visto que a solução final será construída com um polímero e não com uma liga metálica. No entanto, conseguiu-se tirar algumas conclusões nos ensaios relacionadas com a geometria da bucha. A rolha utilizada é de classe flor.



**Fig. 3.9:** Protótipo nº1.

O protótipo nº2 é igual ao nº1 mas a rolha é da classe neutrocork.



**Fig. 3.10:** Protótipo nº2.

O protótipo nº3 possui duas meias anilhas lisas, sem qualquer tipo de excentricidade. Para fixar as meias anilhas no interior da cápsula foi utilizado um freio interior. Para fazer este protótipo foi necessário fazer uma operação de sangramento radial num torno mecânico, para obter o rasgo onde encaixam as meias anilhas. A classe da rolha utilizada é a neutrocork.



**Fig. 3.11:** Protótipo nº3.

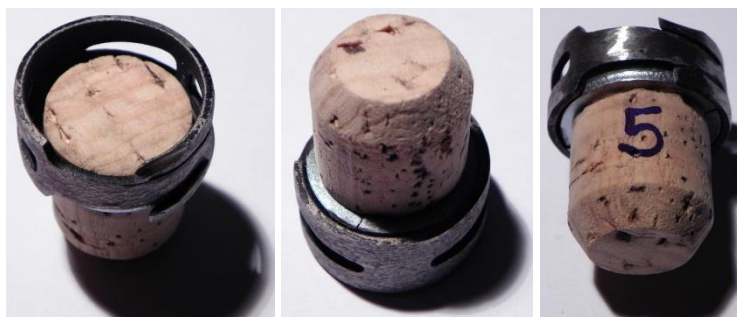
O protótipo nº4 é composto pela bucha amarela e pelo parafuso da figura 3.8. Esta bucha possui pequenos dentes que cravam na cortiça quando é inserido o parafuso no seu interior. A classe da rolha é neutrocork.



**Fig. 3.12:** Protótipo nº4.



O protótipo nº5, tal como o nº3, é composto por duas meias anilhas mas neste protótipo as meias anilhas são apertadas contra a rolha com uma abraçadeira metálica. A classe da rolha utilizada é a flôr.



**Fig. 3.13:** Protótipo nº5.

O protótipo nº6 foi o único protótipo (dos seis construídos) construído para testar a ideia das lâminas radiais à torção. Todos os outros protótipos foram construídos para serem testados à tração. Para a criação deste protótipo foram criados rasgos na rolha de cortiça com uma faca, coincidentes com as lâminas radiais da cápsula. A classe da rolha do protótipo nº6 é a neutrocork.



**Fig. 3.14:** Protótipo nº6.



### 3.3 ENSAIOS

Após a construção dos primeiros protótipos foram realizados ensaios à tração e à torção nos laboratórios das instalações da unidade industrial RARO, pertencente à Amorim&Irmãos. Foi utilizado o dispositivo de ensaios utilizado pela RARO para realizar ensaios mecânicos de controlo das próprias rolhas T-Cork cuja ligação entre a rolha e a cápsula é feita por cola, como referido anteriormente.

O objetivo nos ensaios mecânicos realizados aos protótipos era a rutura pela rolha de cortiça, pois se a rutura se der pela cortiça significa que a ligação entre a cápsula e a cortiça é suficientemente forte. Em todos os ensaios foram medidos picos de força, que por norma correspondem ao ponto de rutura.

O protótipo nº1 rompeu pela cortiça e foi necessária uma força de 298N à tração. Um ótimo resultado que evidenciou a eficácia da geometria da bucha roscada.



**Fig. 3.15:** Protótipo nº1 após ensaio à tração.

O protótipo nº2 teve um resultado semelhante ao nº1, pois a rutura deu-se novamente pela cortiça. No entanto aguentou uma força maior devido à classe de cortiça da rolha (neutrocork) que se evidenciou mais resistente à tração. O valor da força no ponto de rutura deste protótipo foi de 380N à tração.



**Fig. 3.16:** Protótipo nº2 após ensaio à tração.

O protótipo nº3 não conseguiu obter um resultado tão bom em relação aos protótipos anteriores devido à destruição da cápsula quando os mordentes do dispositivo de ensaios amarraram a cápsula. No entanto, este dispositivo rompeu pela cortiça mas com uma força de apenas 100N à tração. Este resultado deve-se também a outro fator, para além da destruição precoce da cápsula. A rolha deste protótipo possui uma variação de geometria feita pelo sangramento radial. Ao diminuir-se o diâmetro de uma secção da rolha, diminui-se também a sua área transversal nessa secção, o que faz com que essa secção seja forçosamente o “elo mais fraco” do corpo da rolha e a rutura dar-se-á sempre nessa secção.



**Fig. 3.17:** Protótipo nº3 após ensaio à tração.

O resultado do ensaio do protótipo nº4 foi decepcionante. A base da cápsula partiu antes da cortiça. Mesmo assim, a rolha aguentou 202N à tração. Na realização deste protótipo, apercebeu-se que o diâmetro exterior da rolha na zona da média da bucha tinha aumentado cerca de 3mm em relação ao inicial e concluiu-se que para a bucha ser eficiente necessita ser demasiado dilatada na zona dos seus dentes, o que não é aceitável, pois essa variação diâmetral faz com que a rolha entre em conflito com o gargalo da garrafa e influencia a força de extração da rolha.



**Fig. 3.18:** Protótipo nº4 após ensaio à tração.

O protótipo nº5 revelou ter os meus problemas que o protótipo nº3 devido à mesma variação de diâmetro gerada no sangramento radial. No entanto, possuía uma cápsula mais resistente e a variação de secção era relativamente menor fazendo com que conseguisse aguentar uma força de 185N à tração.



**Fig. 3.19:** Protótipo nº5 após ensaio à tração.

O protótipo nº6 teve um resultado ótimo que fez com que se levasse avante a ideia das lâminas radiais até ao final deste projeto. Mostrou ser uma solução sólida, robusta e não apresentou qualquer fraqueza quando solicitada ao ensaio de torção. Esta solução aguentou um momento de 320Ncm, rompendo irrefutavelmente pela cortiça.



**Fig. 3.20:** Protótipo nº6 após ensaio à tração.



### 3.4

#### OTIMIZAÇÃO DA SOLUÇÃO, PROTÓTIPOS E ENSAIOS

Os ensaios realizados na RARO foram fulcrais para que se pudesse avançar no projeto. Permitiu identificar falhas nas soluções e otimizá-las.

O desenvolvimento do sistema de acoplamento foi levado em paralelo com o desenvolvimento do sistema de DV (capítulo 4), e chegou-se à conclusão que o sistema de DV poderia estar interligado com o sistema de acoplamento, isto é, fazer uma solução só para o sistema de acoplamento e o sistema de DV ter o próprio sistema de acoplamento específico para interagirem entre si, podendo tirar partido entre ambos. Assim, ficou decidido eleger a melhor solução para o sistema de acoplamento e otimizá-la.

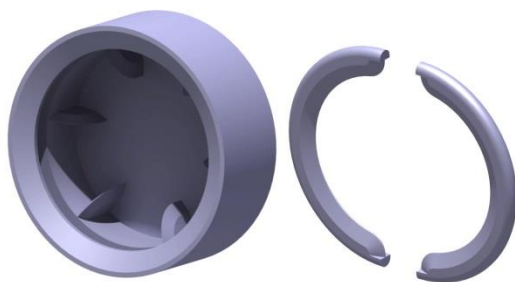
Apesar dos bons resultados da bucha roscada, achou-se por bem enveredar pela solução das meias anilhas e melhorá-la retirando a operação de sangramento radial que enfraquecia a rolha, pois conseguir uma solução isenta de maquinação e com uma montagem simples seria ótimo. A opção da bucha roscada não foi posta de lado mas sim adaptada ao sistema de DV como se verá no capítulo 4.



**Fig. 3.21:** Primeira otimização do sistema de acoplamento após os primeiros ensaios mecânicos.

Sendo assim, foi iniciada a otimização da solução das meias anilhas e depois de se desenhar o novo modelo CAD procedeu-se à produção de um novo protótipo, desta vez feito a partir da estereolitografia (SLA).

A este novo modelo foram adicionadas as testadas lâminas radiais para a transmissão de torque entre a cápsula e a rolha. Em relação à tração, a nova solução utiliza apenas pressão sobre as paredes exteriores da rolha através das duas meias anilhas. A cápsula possui uma reentrância onde encaixam as meias anilhas e as mantém constantemente em pressão sobre a rolha.



**Fig. 3.22:** Cápsula e meias anilhas da primeira otimização do sistema de acoplamento após os primeiros ensaios mecânicos.

Após a prototipagem por estereolitografia foi notado durante a montagem que a colocação das duas meias anilhas dentro da cápsula era bastante difícil e que seria um grande problema implementar uma montagem com esta complexidade numa cadeia de produção automática. Para além disso, reparou-se que as pontas das meias anilhas ficavam sujeitas a um esforço maior e que a distribuição da pressão sobre a rolha não era uniforme, chegando-se à conclusão que o ideal seria ter quatro quartos de anilha a pressionar a rolha, mas colocar quatro quartos de anilha em posição de montagem era uma tarefa ainda mais árdua que a primeira.



**Fig. 3.23:** Protótipo da primeira otimização do sistema de acoplamento.

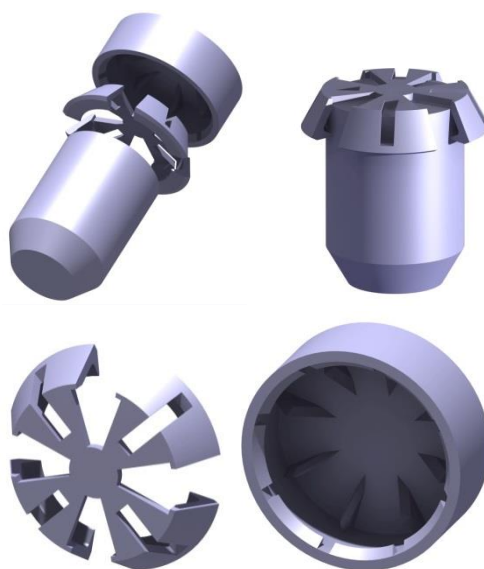
Perante o problema acima descrito, foi feita uma nova otimização. Ora, se o problema estava em segurar as divisões da anilha na posição requerida, então era necessário criar um suporte que as fixasse na posição correta e que facilitasse a montagem. Para o efeito, foi desenhada uma “camisa” em volta do topo da rolha para fixar as divisões da anilha no local correto e que deixa passar as lâminas radiais para penetrarem a rolha. Assim a rolha fica segura à tração através da camisa e segura à torção devido às lâminas.



Outro problema associado ao último protótipo é a geometria da reentrância da cápsula que suporta as meias anilhas. Esta reentrância representa uma dificuldade do processo de moldação por injeção, pois trata-se de uma contrassaída completamente fechada, o que impediria a desmoldação da peça após a injeção, sem a danificar. Para eliminar este problema, a reentrância foi dividida por partes, ou seja, foram criadas aberturas de modo a possibilitar a desmoldação.

Um dos objetivos adjacentes à utilização das lâminas era evitar que fosse necessário abrir pequenos rasgos na rolha para facilitar a penetração das lâminas. Para atingir este objetivo é necessário estudar a geometria das lâminas. A dificuldade da penetração está na tensão superficial da cortiça, que oferece uma certa inércia à sua rutura. Para conseguir vencer essa inércia é necessário que o primeiro contacto entre a lâmina e a cortiça seja feito a partir de uma área de contacto muito reduzida, fazendo que com a mesma força se consiga exercer uma pressão maior sobre a cortiça.

Tendo em conta todos estes aspetos, foi desenhada uma nova solução com base na otimização da anterior. De seguida, foi feito o respetivo protótipo e foram feitos novos ensaios nas instalações da RARO.



**Fig. 3.24:** Modelação CAD do sistema de acoplamento final.

**NOTA:** Os desenhos técnicos do novo sistema de acoplamento poderão ser consultados no anexo C.

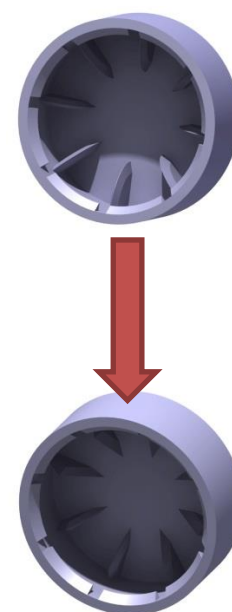
Na figura 3.25 pode observar-se que houve uma alteração nas lâminas. Enquanto que as primeiras eram arredondadas, as novas lâminas têm a forma de um “V”, como a ponta de uma espada. Esta geometria é muito mais favorável a perfurar a cortiça, pois a sua ponta em “V” concentra em si toda a força que é aplicada sobre a cápsula na montagem, transformando essa força numa pressão enorme que faz com que a cortiça ceda.

Na figura 3.26 também se pode ver a camisa que assenta sobre o topo da rolha e cujas paredes são inclinadas, exatamente para facilitar o encaixe da cápsula exterior.



**Fig. 3.26:** Protótipo final do sistema de acoplamento feito por SLA.

Após a montagem do protótipo foram feitos ensaios à tração (com rolha de classe flor) e à torção (com rolha de classe neutrocork). Em relação ao ensaio à tração, este protótipo aguentou 187N de força, rompendo praticamente na sua totalidade pela cortiça. A rutura total não se verificou porque a rolha ao ser tracionada tem tendência a encolher diminuindo o seu diâmetro e fazendo com que a rolha de cortiça se tenha escapado da pressão gerada pelos dentes da camisa. Já no ensaio à torção resistiu a um momento de 173Ncm com uma rotação cujo ângulo foi de 40°. Os resultados foram muito bons, dado que para uma rolha T-Cork cujo o corpo da rolha possui 19,5mm de diâmetro, o limite mínimo de força a que tem de resistir antes atingir a rutura é de 120N e um momento mínimo de 100Ncm [26].



**Fig. 3.25:** Otimização das lâminas.

Os resultados desta solução relativamente ao ensaio à tração ainda podem ser melhorados, aumentando ligeiramente a penetração e a área de contacto dos dentes da camisa em relação à rolha. No entanto, em caso de otimização, é necessário ponderar bem a penetração e a área de contacto, pois pela figura 3.27 consegue-se perceber que a rutura dá-se na zona de aperto, ou seja, na zona de contacto dos dentes da camisa.



**Fig. 3.27:** Protótipo da solução final após ensaio à tração.



**Fig. 3.28:** Protótipo da solução final após ensaio à torção.

Na figura que demonstra o resultado do ensaio à torção, é visível a destruição parcial da cápsula. Isto deve-se à força excessiva dos mordentes que agarram a cápsula. Foi um imprevisto que pode ter alguma influência negativa nos ensaios. No entanto, para resolver este problema basta reforçar as paredes da cápsula que são concêntricas com o eixo longitudinal da rolha.

Após estes ensaios, ficou claro que esta última solução preenche os requisitos impostos nos ensaios mecânicos, sendo uma solução que, estruturalmente, é sólida, robusta e agradável no seu manuseamento.



### 3.5 SIMULAÇÃO DE ESFORÇOS

De modo a prever o comportamento da solução quando sujeita a esforços estruturais, foram feitas simulações com o *software Abaqus*<sup>TM</sup> que ajudaram a perceber melhor as limitações da solução criada.

Através deste *software* de simulação numérica foi possível observar deformações e tensões máximas geradas a partir das forças a que o sistema de acoplamento estará sujeito.

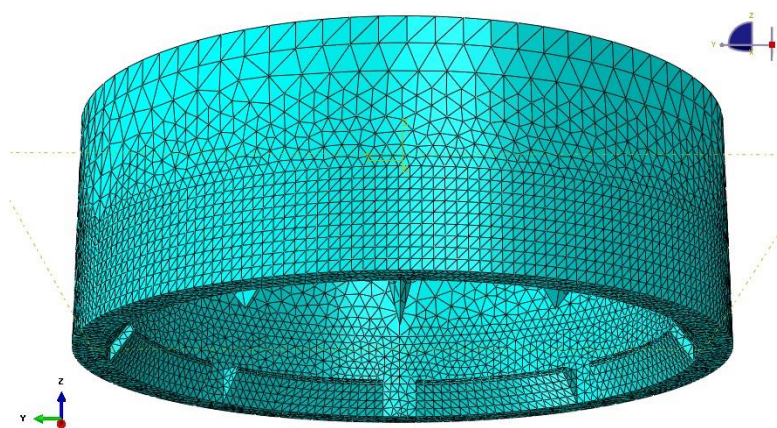
Visto que o comportamento à torção das lâminas radiais foi testado empiricamente várias vezes e sempre com sucesso, decidiu-se que não era necessário simular os esforços gerados pela torção. Assim, os esforços que foram considerados mais críticos, foram os esforços à tração. Ou seja, foi simulada uma carga de 200N distribuída sobre as faces interiores das reentrâncias que suportam a camisa, pois os 200N foram definidos como o patamar de carga a superar nos esforços à tração que a rolha estaria sujeita. Este patamar foi definido segundo as cargas suportadas pelas rolhas coladas e segundo discussões com engenheiros do laboratório de ensaios da RARO.

Para interpretar os resultados obtidos foi utilizado o critério de *Von Mises*. O *Abaqus*<sup>TM</sup> calcula as tensões de *Von Mises* em cada nó a partir das tensões principais e devolve essa informação organizada ao utilizador. Depois compara-se o valor máximo das tensões de *Von Mises* na secção do modelo que se quer analisar com a tensão de cedência. Se a tensão máxima de *Von Mises* ultrapassar a tensão de cedência isso significa que o material irá ceder nessa zona, entrando em regime plástico ou até mesmo romper.

A proximidade dos resultados obtidos por este software e a realidade depende principalmente do grau de refinamento da malha aplicada ao modelo. Mas se a malha for demasiado refinada, cada simulação poderá demorar horas. No capítulo 4 será explicado como se fez as escolhas da malhas para as simulações em *Abaqus*<sup>TM</sup>.

Foram feitas simulações para cada peça aplicando as propriedades mecânicas do GPPS, do HIPS, do ABS e da resina utilizada nos protótipos feitos por estereolitografia. Os valores utilizados estão nas tabelas 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4 do capítulo 2.

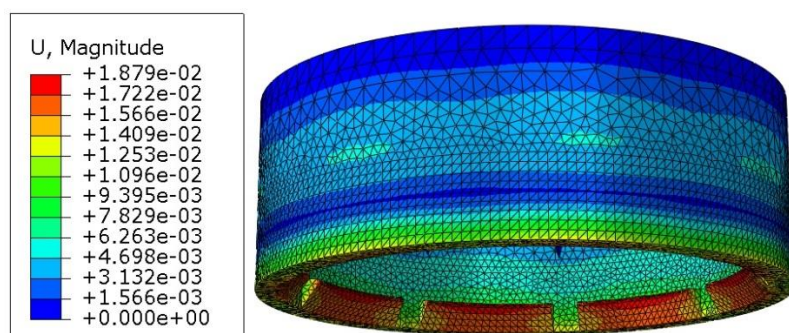
Primeiramente foi definida a malha de tetraedros a aplicar no modelo e foi refinada nas zonas das reentrâncias (figura 3.29), pois é a zona crítica que se quis analisar.



**Fig. 3.29:** Malha aplicada ao modelo em estudo.

De seguida, após terem sido definidas as cargas e as condições fronteira foram iniciados os cálculos para os quatro materiais referidos.

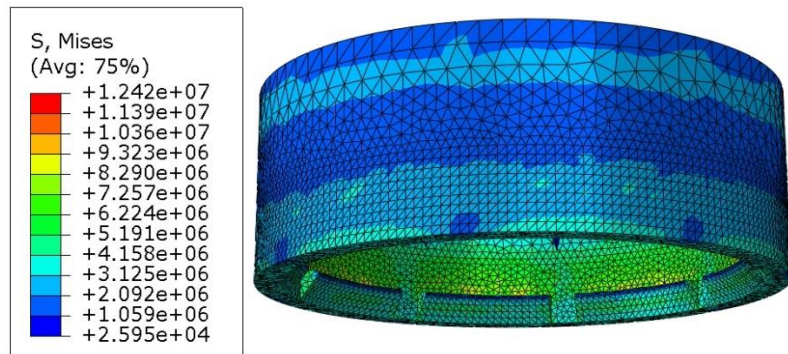
Dos resultados obtidos, foram retirados os valores da tensão máxima de *Von Mises* e o maior deslocamento derivado da deformação da peça.



**Fig. 3.30:** Resultado da simulação dos deslocamentos U para a cápsula exterior cujo material é o GPPS *STYRON*™ 678E.

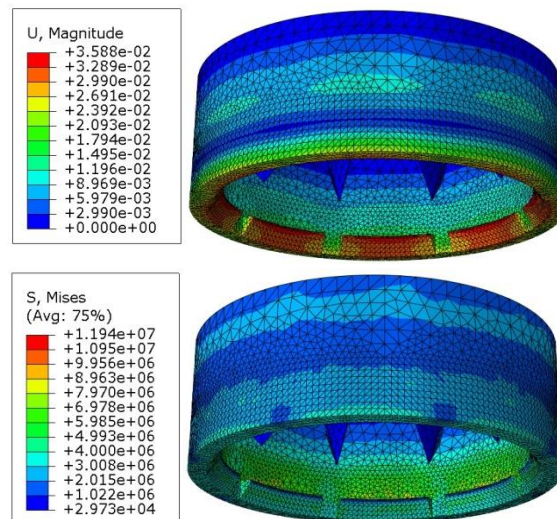
O maior deslocamento é de 0,019mm, ou seja, é um deslocamento mínimo o que o torna irrelevante para o problema.





**Fig. 3.31:** Resultado da simulação das tensões de *Von Mises*, *S*, para a cápsula exterior cujo material é o GPPS *STYRON™ 678E*.

A maior tensão, *S*, é de 12,42MPa. Dado que a tensão limite elasticidade do GPPS em causa é de 43MPa, verifica-se que o novo sistema de acoplamento não levanta qualquer problema quando solicitado por uma força de 200N à tração.



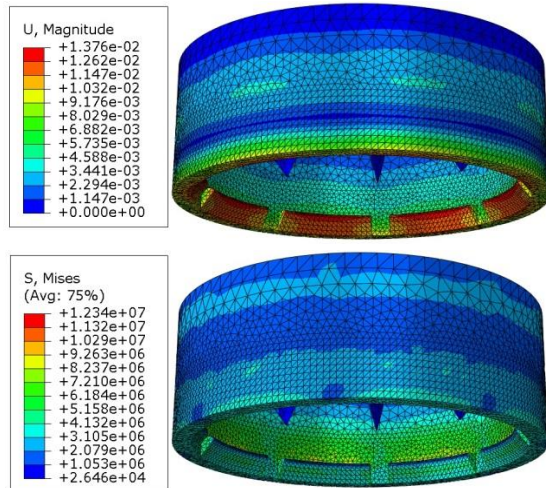
**Fig. 3.32:** Resultado da simulação dos deslocamentos, *U*, e tensões de *Von Mises*, *S*, para a cápsula exterior cujo material é o HIPS *STYRON A-Tech™ 1200*.

$$U_{\max}=3,59 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$S_{\max}=11,94 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ced}=19,50 \text{ MPa}$$

Verifica-se o requisito:  $S_{\max} < \sigma_{ced}$



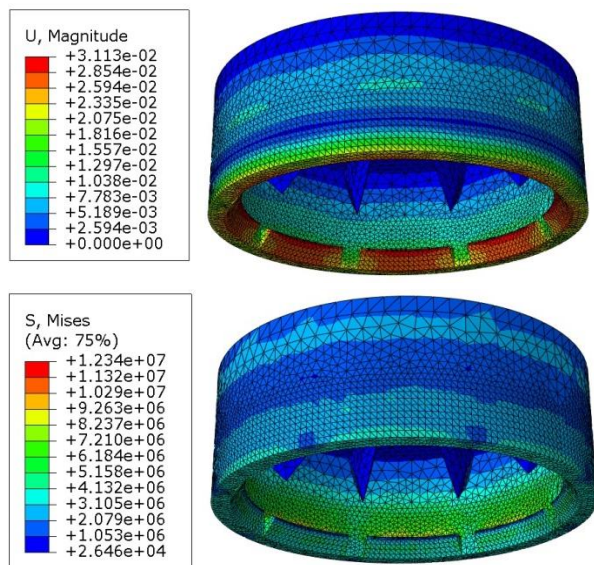
**Fig. 3.33:** Resultado da simulação dos deslocamentos,  $U$ , e tensões de *Von Mises*,  $S$ , para a cápsula exterior cujo material é o *ABS RTP 699*.

$$U_{\max} = 1,38 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 12,34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ced} = 25,00 \text{ MPa}$$

Verifica-se o requisito:  $S_{\max} < \sigma_{ced}$



**Fig. 3.34:** Resultado da simulação dos deslocamentos,  $U$ , e tensões de *Von Mises*,  $S$ , para a cápsula exterior cujo material é o *RenShape™ SL 7810*.

$$U_{\max} = 3,11 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 12,34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ced} = 35,90 \text{ MPa}$$

Verifica-se o requisito:  $S_{\max} < \sigma_{ced}$



### 3.6

## SIMULAÇÃO DA INJEÇÃO

Após os ensaios mecânicos terem sido bem sucedidos foi altura de fazer uma pequena abordagem à simulação da injeção para identificar possíveis problemas na produção do novo sistema de acoplamento.

O software utilizado para fazer as simulações de injeção foi o *Autodesk Moldflow Adviser*<sup>®</sup> (*AMA*<sup>®</sup>). Dado que o *AMA*<sup>®</sup> tem a opção de utilizar catálogos de materiais da sua base de dados, o objetivo era fazer simulações para os três materiais apresentados no capítulo 2: o poliestireno GPPS *STYRON*<sup>TM</sup> 678E, o poliestireno HIPS *STYRON A-Tech*<sup>TM</sup> 1200 e o ABS *RTP 699 X 81044 F Z*. Mas destes três materiais, o software só dispunha do poliestireno GPPS *STYRON*<sup>TM</sup> 678E. Os outros dois materiais foram substituídos por outros dois materiais das mesmas marcas mas de gamas diferentes, não descurando o facto das propriedades mais relevantes para a simulação serem idênticas entre si. Portanto, na realização das simulações o poliestireno HIPS *STYRON A-Tech*<sup>TM</sup> 1200 foi substituído pelo poliestireno HIPS *STYRON A-Tech*<sup>TM</sup> 1173, e o ABS *RTP 699 X 81044 F Z* foi substituído pelo ABS *RTP 603*.

Todas as simulações realizadas, tal como diz o primeiro parágrafo, são uma pequena abordagem à injeção, ou seja, são simulações cujos resultados são uma aproximação um pouco grosseira da realidade. Isto deve-se a vários fatores. Uma análise detalhada e aprofundada de processos de injeção para várias peças, para além de ser demorada requer várias informações que não estavam disponíveis para este trabalho, nem sequer fazia sentido nesta fase inicial do projeto onde o objetivo principal é chegar a um conceito que demonstre potencial suficiente para despertar interesse no seu desenvolvimento, otimização e por conseguinte na sua produção. Numa fase mais tardia do projeto fará todo o sentido fazer uma análise mais rigorosa do processo de injeção para que se consiga uma boa aproximação da realidade, de modo a evitar imprevistos durante a sua produção.

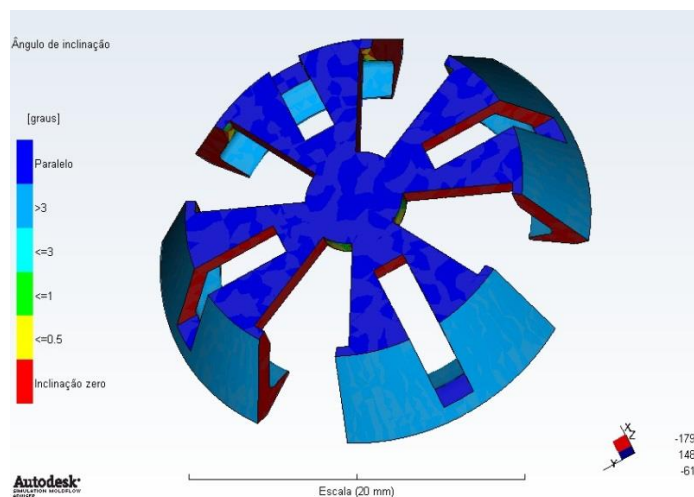
Os dados retirados das simulações de modo a avaliar o processo de injeção foram os seguintes:

- Análise da adequação da geometria da peça pretendida ao processo de injeção;
- A melhor localização de ataque da peça/ Indicador de resistência do fluxo;
- Tempo de enchimento;
- Temperatura da frente de fluxo;
- Prisões de ar;
- Linhas de soldadura;
- Contração volumétrica na extração;

Todas as simulações foram feitas através do método que utiliza a malha “*Dual Domain*”.

De todos os resultados, só serão apresentados neste capítulo os que resultaram das simulações com o GPPS, visto que o principal objetivo é obter uma solução obtida por GPPS. Os restantes resultados não serão apresentados, no entanto, foram devidamente analisados, concluindo-se que o GPPS garantia a melhor injeção.

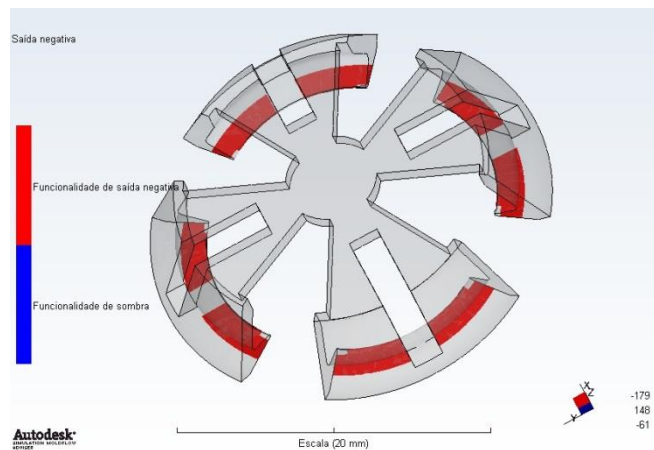
### 3.5.1 SIMULAÇÃO PARA A CAMISA



A zona a vermelho da peça significa que a respetiva face é completamente perpendicular ao plano de apartação do molde. Esta situação não deve ocorrer, pois dificulta a desmoldação. Para contornar este problema, todas as faces a vermelho devem ter 3° de inclinação de modo a facilitar a desmoldação.

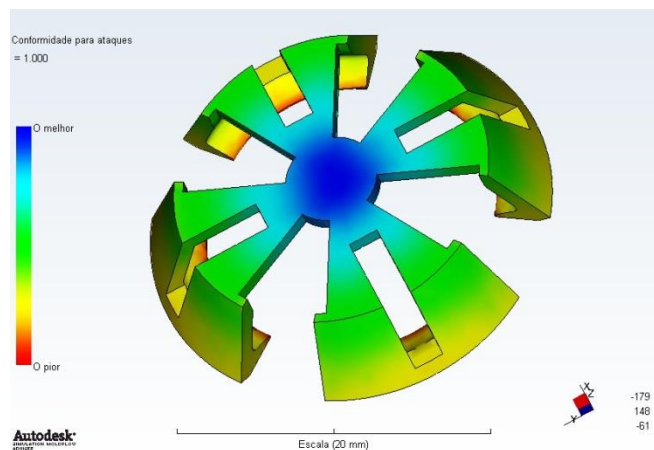
**Fig. 3.35:** Ângulo de inclinação

Nesta análise são demonstradas as contra-saídas ou as chamadas saídas negativas que para um molde simples de duas partes impedem a desmoldação. Para resolver este problema é utilizado no molde um sistema de pinças que molda as reentrâncias da peça e torna possível a sua desmoldação.



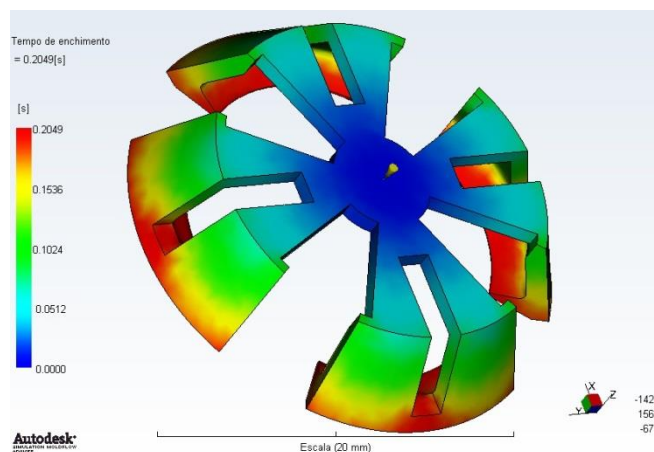
**Fig. 3.36:** Saídas negativas.

A conformidade para ataques indica a localização ideal onde deve ser feito o ataque da peça, ou seja, o local por onde o sistema de alimentação deverá começar a encher a cavidade do molde que corresponde à geometria da peça pretendida. Neste caso, a localização ideal é no centro da peça (zona azul escuro).

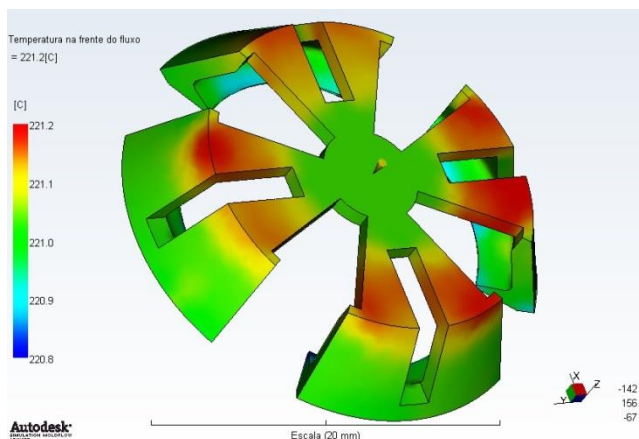


**Fig. 3.37:** Conformidade para ataques.

Através deste resultado consegue-se perceber que o enchimento desta peça foi muito bem balanceado através de uma distribuição de fluxo bastante uniforme. Esta situação acontece principalmente quando a geometria da peça possui pelo menos dois planos de simetria cuja linha de interseção dos dois é coincidente com o ponto de ataque.

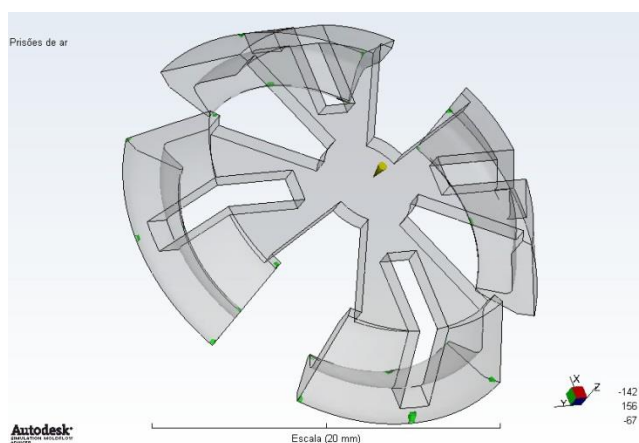


**Fig. 3.38:** Tempo de enchimento (camisa).



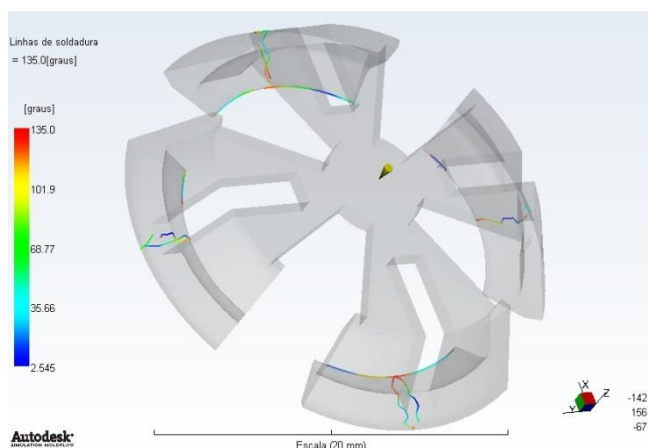
**Fig. 3.39:** Temperatura da frente de fluxo (camisa).

A temperatura da frente de fluxo não deve ser em qualquer local inferior em mais de 5°C da temperatura de injeção do material. Neste caso a temperatura da frente de fluxo variou entre 220,8°C e 221,2°C, ou seja, cumpre o requisito.



**Fig. 3.40:** Prisões de ar (camisa).

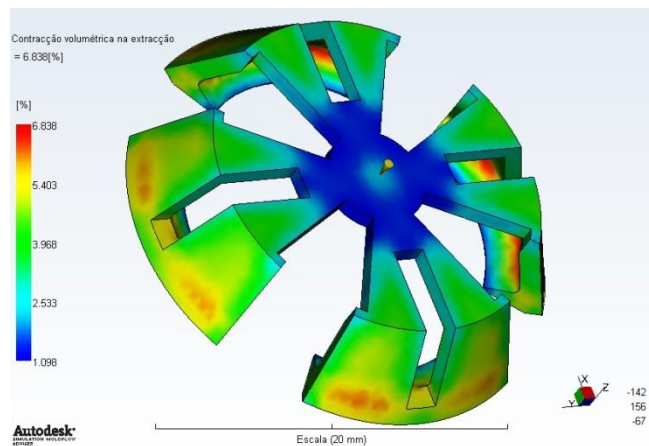
A simulação das prisões de ar gerou um resultado excelente e de acontecimento esporádico. De todas as peças analisadas, esta foi a única que não apresentou qualquer prisão de ar durante o enchimento.



**Fig. 3.41:** Linhas de soldadura (camisa).

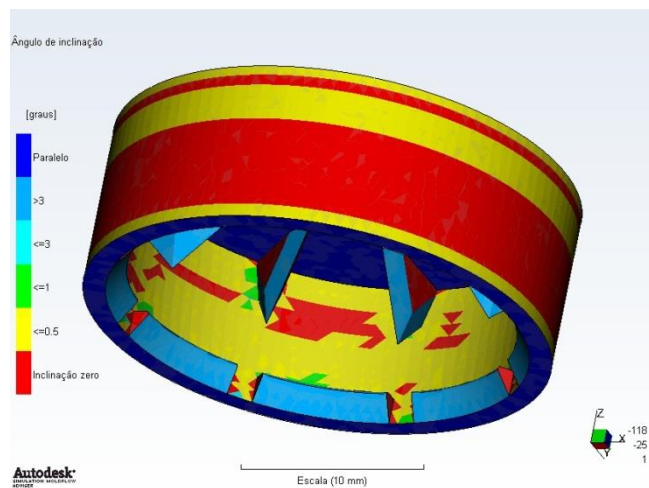
As linhas de soldadura representam o ângulo de convergência do confronto entre duas frentes de fluxo diferentes. A formação destas linhas pode originar tensões internas e pontos de fraqueza na peça. Neste caso, as linhas são mínimas e em zonas que pouco influenciam a eficácia da camisa.

A contração volumétrica é uniforme em quase toda a peça, no entanto as zonas de maior espessura (a vermelho) revelam aumentos de contração volumétrica. O problema associado à contração do material é a possibilidade de empenos e defeitos na peça.



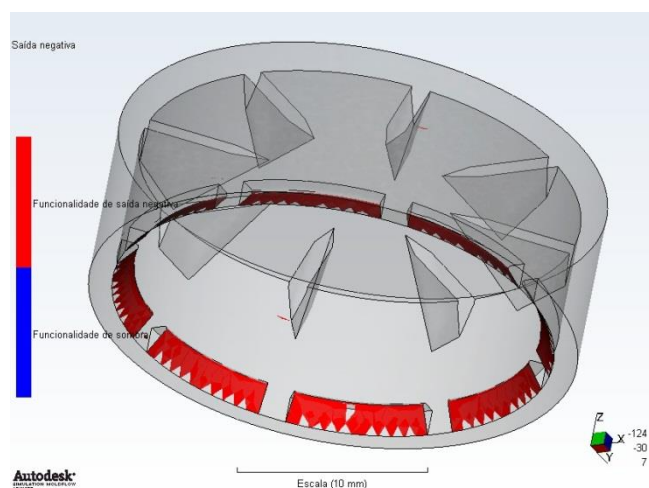
**Fig. 3.42:** Contração volumétrica na extração (camisa).

As faces perpendiculares ao plano de apartação (a vermelho) necessitam de um ângulo de inclinação de 3° para facilitar a desmoldação da peça sem a danificar.



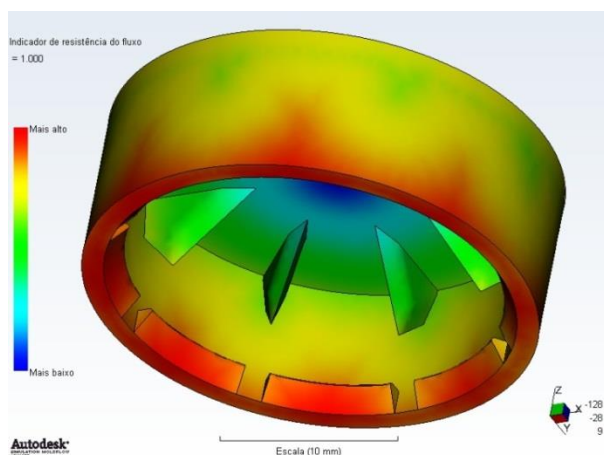
**Fig. 3.43:** Ângulo de inclinação (cápsula exterior).

Também na cápsula exterior existem saídas negativas (a vermelho) que vão implicar um sistema de pinças para as moldar e tornar possível a desmoldação da peça. Os sistemas de pinças requerem uma relativa complexidade que encarece o molde.



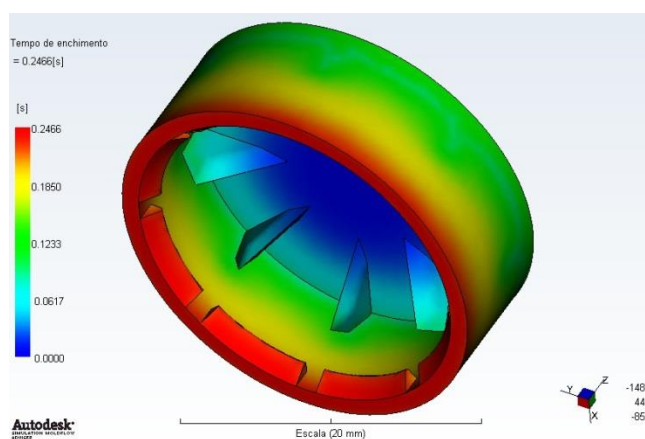
**Fig. 3.44:** Saídas negativas (cápsula exterior).





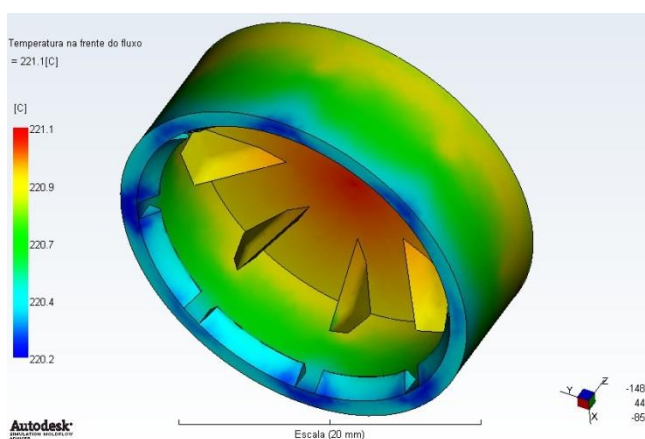
**Fig. 3.45:** Indicador de resistência do fluxo (cápsula exterior).

O indicador de resistência do fluxo, tal como a conformidade para ataques, indica a localização ideal para atacar a peça. A zona indicada para o ataque está a azul escuro e encontra-se no centro da face superior da cápsula. Assim o fluxo será distribuído uniformemente.



**Fig. 3.46:** Tempo de enchimento (cápsula exterior).

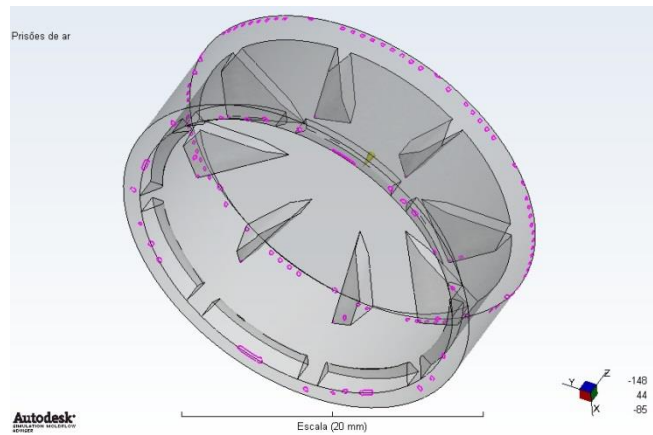
Como se pode observar na figura 3.46, o fluxo é distribuído de forma uniforme, concretizando assim um enchimento com qualidade e homogéneo. Esta distribuição de fluxo está sempre dependente de um bom ataque.



**Fig. 3.47:** Temperatura da frente de fluxo (cápsula exterior).

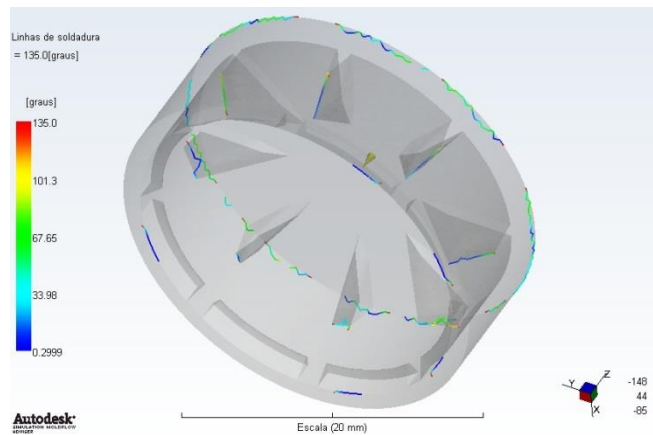
A variação da temperatura da frente de fluxo voltou a cumprir o requisito da variação menor que 5°, tal como na injeção da camisa.

As prisões de ar, neste caso, encontram-se na linha de partição do molde e na zona de contacto do molde com a peça no lado da extração. As prisões de ar na linha de partição não são um grande problema, já que esta zona serve de escape de gases.



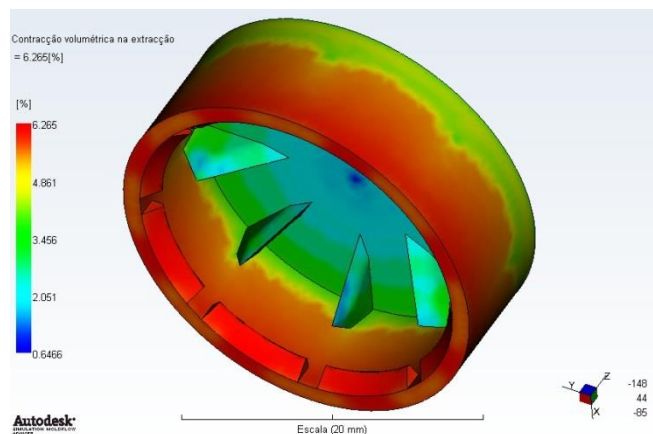
**Fig. 3.48:** Prisões de ar (cápsula exterior).

As linhas de soldadura formadas são de ângulos reduzidos o que em princípio não será um problema para um correto comportamento da cápsula, não pondo em causa a eficácia da solução. De qualquer maneira, existem várias maneiras de contornar este problema, e quanto menos linhas de soldadura, melhor.



**Fig. 3.49:** Linhas de soldadura (cápsula exterior).

Observa-se um aumento de contração volumétrica nas reentrâncias que suportam a camisa e são responsáveis pelo movimento à tração, logo é uma zona onde se quer evitar empenos.



**Fig. 3.50:** Contração volumétrica da extração (cápsula exterior).





### 3.7

#### DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As simulações numéricas realizadas sobre o modelo da nova cápsula foram bastante úteis e revelaram-se surpreendentes, pois confirmaram que o novo sistema de acoplamento tem tudo o que é necessário para ser produzido sem qualquer problema. Através das simulações dos esforços verificou-se que a solução é suficientemente robusta para ser sujeita aos esforços inerentes à função de uma rolha desta gama. Já a simulação da injeção, apesar de ser uma abordagem muito superficial, revelou que o processo de moldação por injeção é perfeitamente adequado à produção dos novos componentes. No entanto, terá de haver um maior desenvolvimento do processo de injeção tendo em conta os sistemas necessários para a moldação das reentrâncias da cápsula e da camisa, tal como verificar se será possível adaptar as máquinas de injeção da RARO à produção desta solução.

Dado que as simulações geradas para o poliestireno GPPS *STYRON<sup>TM</sup> 678E* apresentaram ótimos resultados, concluiu-se que este poliestireno é a melhor opção (entre os materiais disponíveis na RARO) para a nova cápsula.



### 3.8 PRODUTO FINAL

O novo sistema de acoplamento é formado por três componentes: a camisa, a cápsula exterior e a rolha de cortiça. Durante a montagem a camisa sofre uma deformação que pode causar uma rutura na sua parte superior. Essa deformação não foi alvo de simulação nem de cálculo analítico porque mesmo que a camisa entre em rutura na sua parte superior durante a montagem, essa rutura não vai influenciar no desempenho do sistema, logo não houve preocupação em controlar a mesma. É de notar que só há risco de rutura para alguns materiais, ou seja, os mais rígidos partirão muito provavelmente, mas se se utilizar um HIPS a camisa poderá nem sequer entrar em regime plástico. A deformação em causa ocorre quando a cápsula exterior pressiona a camisa de modo a forçar os seu dentes contra a rolha de cortiça e deixar assim todo o perímetro da rolha sob pressão.

Na figura seguinte pode observar-se a sequência de montagem do sistema de acoplamento desenvolvido.



**Fig. 3.51:** Processo de montagem do novo sistema de acoplamento.

No ponto 1, reúnem-se os três componentes: a cápsula, a camisa e a rolha. De seguida, no ponto 2, a camisa é aplicada sobre a rolha como mostra a figura e neste ponto é necessário verificar se as lâminas radiais da cápsula estão coincidentes com os intervalos (espaços abertos) da camisa para que as lâminas não fiquem a ser pressionadas axialmente contra a camisa.

Após essa verificação, no ponto 3, a cápsula é pressionada contra a rolha, as lâminas cravam na rolha e dá-se o encaixe dos três componentes finalizando assim a montagem do produto final.

Um dos objetivos ao projetar a nova solução era manter as dimensões da cápsula da rolha capsulada atual. Esse objetivo foi cumprido. A nova cápsula possui exatamente as mesmas dimensões exteriores, fazendo com que o aspeto exterior possa ser muito idêntico como se pode observar na figura seguinte.



**Fig. 3.52:** Comparação, através de fotorrealismo, do aspeto das duas cápsulas: a cápsula produzida atualmente e a cápsula desenvolvida neste trabalho.



DESIGN**STUDIO**FEUP





# CAPÍTULO 4





## DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO II: SISTEMA DE DETEÇÃO DE VIOLAÇÃO



## 4.1

### CRIAÇÃO DO CONCEITO

O desenvolvimento do sistema de DV revelou-se ser uma tarefa bastante complexa e com uma dificuldade superior à do desenvolvimento do sistema de acoplamento. Inerente à complexidade do desenvolvimento da solução está a dificuldade em expressar por palavras o detalhe da estratégia de pensamento adotada nas sucessivas otimizações realizadas. O recurso a figuras e uma leitura atenta são absolutamente indispensáveis para o bom entendimento do trabalho desenvolvido.

No início deste trabalho foi deliberado que a nova solução a desenvolver seria um dispositivo com um mecanismo irreversível incorporado que informasse o utilizador da rolha se já tinha ocorrido uma tentativa de abertura da garrafa. Esse mecanismo irreversível teria de ser permanente e manter a sua eficiência durante anos (caso necessário), ou seja, não poderia ser um mecanismo que tivesse uma data de validade de atuação.

Depois de se investigar sobre o estado da arte, foram feitos os primeiros esboços de ideias para o sistema. De seguida, foi feita uma seleção e foi escolhida a ideia que apresentava maior potencial para o seu desenvolvimento.

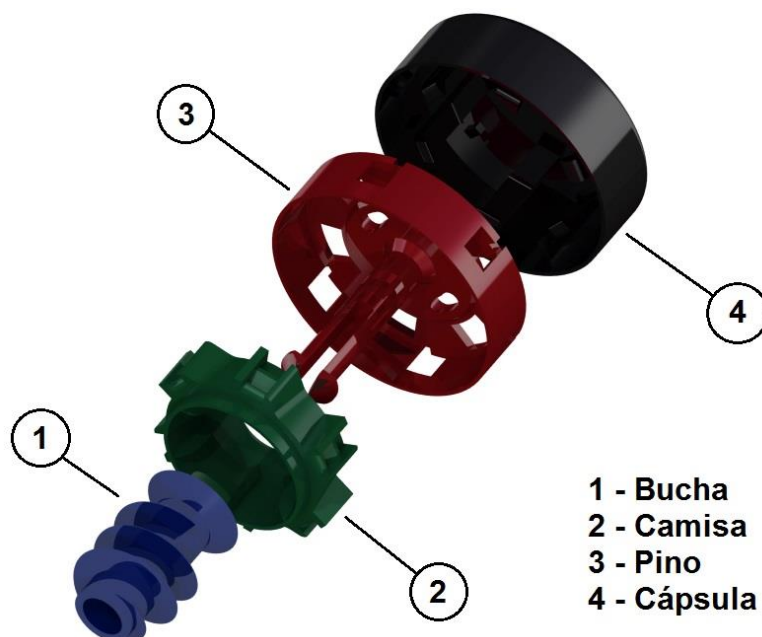
Acordou-se que o desenvolvimento do mecanismo teria várias imposições: teria de ser um mecanismo para cujo fabrico fosse exclusivamente utilizado um dos polímeros já aplicados pela Raro, a sua geometria teria de ser suficientemente simples para que fosse possível ser produzido por injeção sem grandes custos associados, deveria manter uma boa proporcionalidade em termos de dimensões para que a sua aplicação nas garrafas atuais fosse possível sem que o cliente tivesse de alterar o formato das mesmas, e a solução teria de funcionar com qualquer movimento de extração: tração, torção no sentido horário e anti-horário, e tração conjugada com qualquer dos sentidos de torção.

Tendo em conta todas estas restrições, a margem de manobra para a criação de soluções viáveis tornou-se limitada. Para se projetar um sistema de DV, é necessário que o projectista de coloque na posição do violador e pense como ele. Durante o

desenvolvimento do projeto é necessário pensar em todas as maneiras possíveis de violar o produto sem disparar o mecanismo e tentar eliminá-las de modo a garantir sempre a detecção da violação. A ideia para o sistema de DV consistia em tornar visível uma pequena banda vermelha na base da cápsula assim que alguém tentasse retirar a rolha da garrafa. Essa banda estaria recolhida dentro da cápsula exterior e assim ficaria até haver um movimento à tração sobre a mesma. Essa visibilidade constituiria a prova de que alguém teria tentado abrir a garrafa.

Depois de se ter escolhido a melhor ideia para o desenvolvimento, foram feitos de imediato os primeiros desenhos 3D no *software Catia<sup>TM</sup> V5 R20*.

A primeira proposta para o sistema de DV era composta por quatro componentes mais a rolha. Esses componentes eram os seguintes: uma bucha, uma camisa, um pino e a cápsula exterior. Na figura 4.4 é apresentada a primeira proposta para o sistema de DV.



**Fig. 4.4:** Primeira proposta para o sistema de DV.

Para a montagem desta solução seria necessário maquinar a rolha através de um torneamento e uma furação. A furação é necessária para a colocação da bucha roscada que é responsável por suportar a rolha à tração. O torneamento é necessário para que a camisa fique com a sua face inferior



**Fig. 4.1:** Bucha do sistema de DV.



**Fig. 4.2:** Pino do sistema de DV com camisa incorporada.

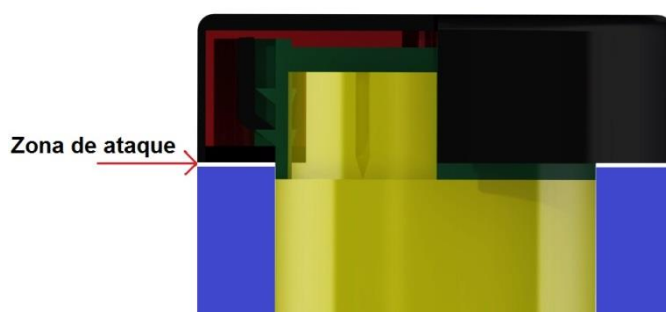


**Fig. 4.3:** Camisa do sistema de DV.



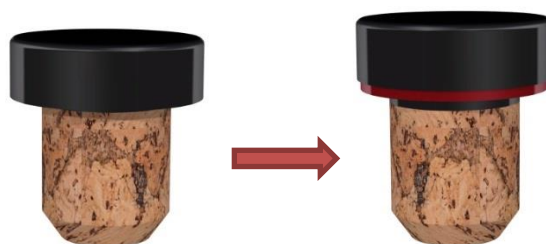
**Fig. 4.5:** Cápsula do sistema de DV.

exterior coincidente com o plano da face da rolha. A ideia desta coincidência de planos era evitar que o violador conseguisse atacar a rolha de cortiça sem disparar o sistema de DV, como mostra a figura 4.6. Assim tornava-se impossível o violador conseguir chegar à rolha depois de engarrafada, pois teria a peça verde a impedi-lo.



**Fig. 4.6:** Possível zona de ataque entre a cápsula e a garrafa (a azul) vista da perspectiva do violador.

Outra característica que impedia o contrafator de abrir a rolha sem disparar o sistema, era a distância entre o plano da base da camisa vermelha e o plano da base da cápsula exterior. Esta distância era de 1mm. Assim era impossível chegar à camisa vermelha sem mover a cápsula 1mm axialmente. Este sistema tinha duas fases de disparo, a primeira fase dava-se quando se levantava a cápsula exterior 1mm e a segunda fase acontecia quando se puxava a cápsula mais 2,5mm em relação ao primeiro disparo, ou seja, no total a cápsula tinha de sofrer um deslocamento de 3,5mm.



**Fig. 4.7:** Aspeto da rolha antes e depois do disparo do sistema de DV.



## 4.2

### OTIMIZAÇÃO DA SOLUÇÃO, PROTÓTIPOS E ENSAIOS

Após a criação do conceito e a realização dos desenhos CAD do sistema, foram criados protótipos por estereolitografia para ajudar a identificar as limitações da solução.



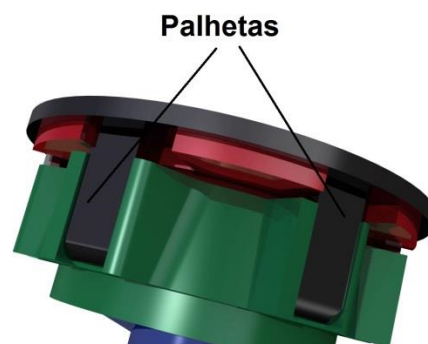
**Fig. 4.8:** Protótipos do sistema de DV feitos por SLA.



**Fig. 4.9:** Assemblagem dos componentes da primeira proposta para o sistema de DV.

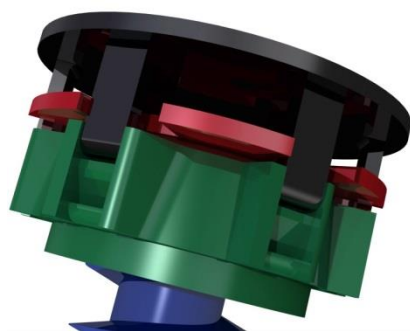
Para abrir uma rolha T-Cork os utilizadores recorrem frequentemente a dois movimentos: torção e tração. A torção é opcional, mas a tração é obrigatória para se conseguir extrair uma rolha, isto é, se se aplicar só torção a rolha rodará sobre o seu próprio eixo e não sairá do gargalo.

O movimento à torção e à compressão estava a cargo das palhetas da cápsula exterior como mostra a figura 4.10. As palhetas encaixam na camisa verde e a torção é distribuída pelas seis.



**Fig. 4.10:** Palhetas responsáveis pelos movimentos à torção e à compressão antes do disparo do sistema de DV.

Logo após alguns ensaios, verificou-se que as palheta tinham duas fragilidades, principalmente depois do sistema de DV disparar completamente (figura 4.11). Quando as palhetas eram submetidas a uma força considerável à torção, não aguentavam o esforço e acabavam por partir. A outra fragilidade dava-se na montagem. Para montar a cápsula era necessário as palhetas fletirem 2mm na sua extremidade. Dadas as propriedades mecânicas do material, tanto do poliestireno como da resina da estereolitografia, que possuem uma tensão de cedência menor que as tensões máximas desenvolvidas pela flecha de 2mm, acabando por partir ou deformarem plasticamente. Para estudar melhor este problema foram desenvolvidos cálculos analíticos antes de se utilizar a simulação numérica.



**Fig. 4.11:** Palhetas depois do disparo do sistema de DV.

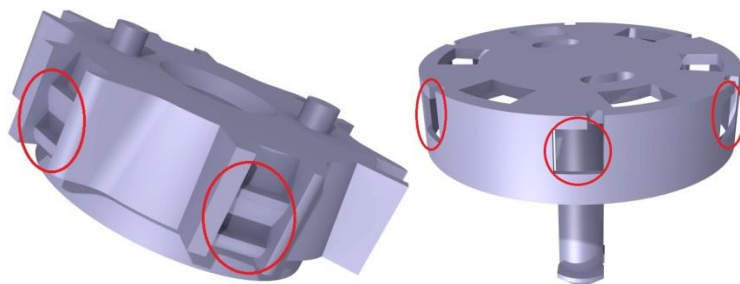
Outro problema associado a esta solução foi o torneamento da rolha. O objetivo do torneamento é retirar material, e por conseguinte, as secções transversais na zona torneada terão uma área menor, o que provoca uma diminuição de resistência à torção por parte da rolha (figura 4.12).



**Fig. 4.12:** Rolha torneada e furada.

Também a geometria de algumas peças possuíam problemas ao nível da moldação. As peças em questão eram a camisa (verde) e o pino (vermelho). Na camisa, o problema eram os dentes que possuía à sua volta para encaixar as palhetas, pois obrigaria o molde da peça a utilizar seis maxilas radiais, o que apresenta um custo acrescido enorme. A peça vermelha também possuía o mesmo problema nos furos retangulares radiais que serviam para a cápsula exterior encaixar e suportar toda a rolha à tração (figura 4.13).





**Fig. 4.13:** Geometrias que exigem um sistema de maxilas no molde.

Após terem sido considerados todos os problemas descritos anteriormente, foi tempo de otimizar a solução e eliminar todos estes problemas. Assim, foi desenhada uma nova solução cujos principais pontos otimizados foram os seguintes:

- Sistema de tração da cápsula exterior;
- Sistema de palhetas;
- Sistema de torção da cápsula exterior;
- Zona inferior da camisa (verde);

Em relação ao sistema de tração da cápsula exterior, deixou de interagir com a peça vermelha e passou a interagir só com a peça verde.

O sistema de palhetas também foi otimizado. A palheta deixou de ter um dente na ponta e passou a ser completamente lisa, sem qualquer excentricidade. Foram feitos cálculos para estudar a sua flexão e foram geradas também simulações dos esforços nas palhetas de modo a prever melhor o seu comportamento.

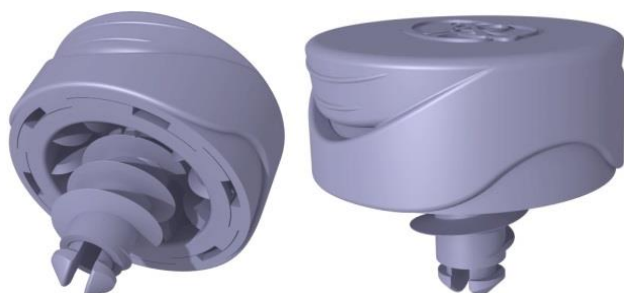
O sistema de torção da cápsula passou a interagir com a camisa (verde) e a camisa do pino (peça vermelha).

A zona inferior da camisa (verde) que protegia a cortiça deixou de existir porque sacrificava bastante a eficácia da solução à torção. Assim, deixou de ser necessário fazer um torneamento na rolha e a única operação de maquinagem necessária passou a ser a furação.

Também o sistema de aviso ao utilizador da tentativa de abertura foi modificado. Agora, em vez de ter uma banda

vermelha que aparece no fundo da cápsula exterior como uma saia, passou a ser utilizado um orifício na cápsula que muda de preto para vermelho (peça vermelha fica visível) assim que o sistema dispara.

A modelação 3D da nova solução pode ser vista nas figuras 4.14 e 4.15.



**Fig. 4.14:** Novo sistema de DV assembled.

**NOTA:** Os desenhos técnicos do novo sistema de DV poderão ser consultados no anexo D.

Após a modelação 3D do sistema de DV, foram feitos novos protótipos da solução e em seguida foram feitos ensaios mecânicos nas instalações da RARO. No anexo D, encontram-se alguns *frames* das gravações de vídeo dos ensaios mecânicos dos protótipos.

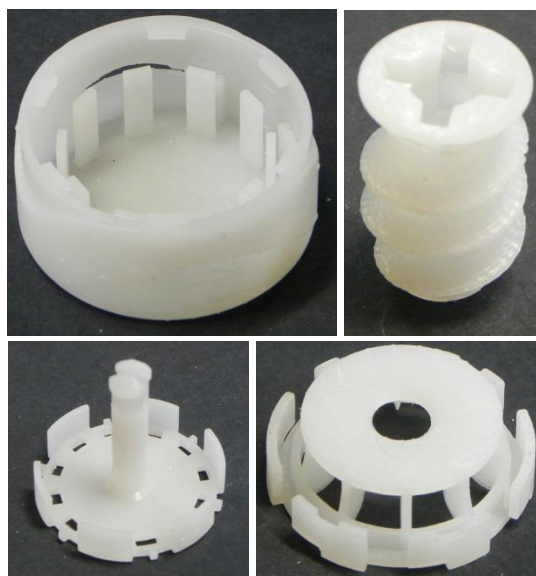
Os resultados dos ensaios à torção correram muito bem e o novo sistema de DV teve resultados superiores às atuais rolhas T-Cork. Todas as rolhas romperam pela cortiça nos ensaios à torção e resistiram a momentos na ordem dos 228N.cm. Isto significa que a solução funciona perfeitamente à torção e ainda apresenta melhores resultados que as rolhas coladas.

Infelizmente, em relação aos ensaios à tração, os resultados não foram os melhores, pois em três ensaios só um é que obteve um resultado acima do limite mínimo, suportando apenas 141N de força de tração.

Os problemas que estão associados a estes resultados estão relacionados com a ponta do pino em forma de seta e com o sistema de tração entre a cápsula exterior e a camisa (peça verde). Estes dois problemas serão analisados no sub-capítulo “Simulação de esforços”.



**Fig. 4.15:** Componentes da nova solução.



**Fig. 4.16:** Protótipos do novo sistema de DV.

Nas imagens seguintes pode observar-se o aspeto dos protótipos após o ensaio à tração (figura 4.17) e após o ensaio à torção (figura 4.18).



**Fig. 4.17:** Protótipo após ensaio à tração.

A partir da imagem anterior percebe-se que a ponta do pino entrou em regime plástico quando foi solicitada à carga de tração. Este foi o principal motivo pelo qual esta solução não resultou à tração. O segundo motivo está, mais uma vez, associado à força excessiva dos mordentes da máquina de ensaios mecânicos. A força excessiva partiu a maioria das cápsulas ensaiadas, o que por vezes gera resultados inconclusivos.

Em relação aos ensaios à torção, verificou-se que apesar da destruição parcial da cápsula em alguns casos (figura 4.18), os resultados foram conclusivos. Tal como foi dito anteriormente, os resultados à torção da nova solução para a DV foram um sucesso, ultrapassando os resultados das rolhas T-Cork atuais. Estes resultados devem-se ao aumento de comprimento das lâminas radiais que cobrem uma maior área da rolha e à bucha que retém a rolha.

Uma das razões pela qual os utilizadores costumam partir a rolha despropositadamente é a realização de uma extração incorreta. Quando a rolha está quase a ser retirada na sua totalidade, o utilizador tem tendência a forçar o topo da rolha segundo a direção transversal ao seu eixo de rotação, criando um momento na parte da rolha que ainda está encastrada dentro do gargalo da garrafa. O movimento em causa está ilustrado na figura 4.19.



**Fig. 4.19:** Movimento incorrecto que origina frequentemente a rutura das rolhas pela cortiça.

Para ajudar a evitar a rutura por flexão causada pelo movimento da figura anterior, a nova rolha tem a bucha e o pino que a reforçam na direção do seu eixo (figura 4.20).



**Fig. 4.18:** Protótipo após ensaio à torção.



**Fig. 4.20:** Protótipo do sistema de DV com corte transversal da rolha.

### 4.3

#### **SIMULAÇÃO DE ESFORÇOS**

Tendo como objetivo analisar os defeitos do sistema de DV projetado para corrigir e otimizar a solução, foram feitos cálculos analíticos e simulações numéricas da estrutura do sistema.

O conteúdo da introdução feita no sub-capítulo 3.5 “Simulação de esforços” do desenvolvimento do sistema de acoplamento é comum ao presente sub-capítulo 4.3.

Após as conclusões deduzidas através dos resultados dos ensaios dos protótipos do sistema de DV, foram identificados os pontos estruturais críticos responsáveis pelo insucesso dos ensaios à tração. Também as palhetas da cápsula exterior foram alvo de análise estrutural devido às ruturas das mesmas nos primeiros protótipos, resultantes da sua flexão aquando da montagem do sistema.

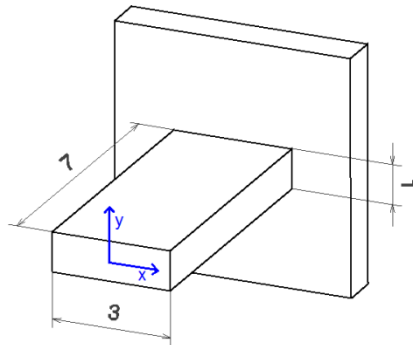
Tal como no sistema de acoplamento, todas as estruturas críticas foram simuladas para o GPPS, o HIPS, o ABS e a resina utilizada na produção dos protótipos.

As palhetas foram a estrutura que mais questões levantou, pois apesar dos cálculos analíticos e as simulações acusarem tensões fora do regime elástico da resina utilizada na estereolitografia, alguns modelos protótipos produzidos ao longo dos quatro meses de projeto, não partiram nem entraram em regime plástico. É verdade que os cálculos analíticos e as simulações contemplaram uma análise linear o que gera uma pequena discrepância, mas essa diferença com o processo real não é suficiente para justificar a não concordância dos resultados calculados com os factos observados nos ensaios.

Deste modo, serão apresentados os cálculos analíticos da estrutura de uma palheta e de seguida serão comparados com o resultado da simulação e com o resultado dos ensaios. Os cálculos analíticos apresentados só se referem a uma palheta devido às aproximações e suposições que seria necessário fazer sobre a geometria das restantes estruturas críticas. Dado que se tem ao dispor uma boa ferramenta de simulação numérica não se justifica fazer cálculos analíticos com aproximações que

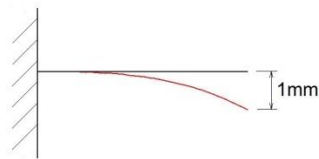
influenciariam bastante os resultados em comparação com a sua simulação.

O modelo da palheta e as suas dimensões encontram-se representados na figura 4.21.



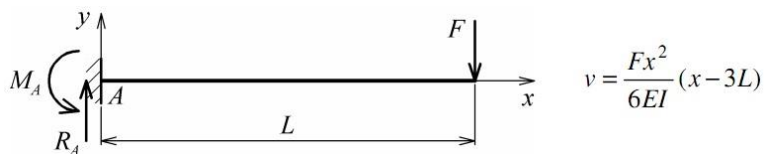
**Fig. 4.21:** Vista isométrica da palheta e respetiva cotagem (em milímetros).

Na montagem do sistema de DV as palhetas vão sofrer uma flexão que gera uma flecha de 1mm, tal como representado na figura 4.22.



**Fig. 4.22:** Flecha sofrida pela palheta à flexão.

Para calcular a tensão máxima resultante da flexão da palheta foi utilizado um dos casos elementares de solicitação e apoio de vigas: uma viga encastrada com uma carga  $F$  aplicada na sua extremidade (figura 4.23).



**Fig. 4.23:** Representação do caso elementar de solicitação à flexão e respetiva flecha (adaptado de [28]).

Como a carga é apoiada na extremidade da palheta,  $x=L$ , então,

$$v = \frac{FL^3}{3EI}$$

A tensão gerada pela flexão é dada por,

$$\sigma = \frac{M}{I} y$$

E o momento é dado por,

$$M = F \times L$$

Onde, pela fórmula da flecha,

$$F = \frac{3vEI}{L^3}$$

Sabendo que a tensão máxima se desenvolve nos pontos mais distantes do eixo  $x$  e designando essa distância por  $(h/2)$  onde  $h$  representa a altura da secção (1mm), então,

$$y = \frac{h}{2}$$

Substituindo  $M$ ,  $F$  e  $y$  na expressão da tensão, tem-se que,

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{\frac{3vEI}{L^3} \times L}{I} \times \frac{h}{2} \quad (=) \quad \sigma_{m\acute{a}x} = \frac{3}{2} \frac{vEh}{L^2}$$

Onde,

$$v = 1mm$$

$$h = 1mm$$

$$L = 7mm$$

Agora pode-se calcular a tensão máxima gerada para os quatro materiais em função do respetivo módulo de Young ( $E$ ), cujo valor se encontra nas tabelas 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 0,030612 \times E$$

Material	GPPS	HIPS	ABS	Res. SLA
$\sigma_{m\acute{a}x} (Mpa)$	107,14	53,57	145,41	64,29

Tabela 4.1: Valores da tensão máxima resultante da flexão para cada material.

Material	GPPS	HIPS	ABS	Res. SLA
$\sigma_{ced} (Mpa)$	43,00	19,50	25,00	39,30

Tabela 4.2: Valores da tensão de cedência para os quatro materiais.

A partir da comparação das tabelas 4.1 e 4.2, conclui-se que nenhum dos materiais resistiria à flexão da palheta, no entanto, na montagem dos últimos protótipos, as palhetas não partiram nem entraram em regime plástico.

Depois dos cálculos analíticos foram feitas as simulações das estruturas críticas.

Quando se utiliza a simulação numérica como ferramenta de cálculo, o grau de exatidão dos valores depende da discretização que se faz do modelo, ou seja, para obter uma boa exatidão nos resultados é necessário gerar uma malha de elementos e nós refinada onde serão aplicadas as leis matemáticas e físicas, principalmente nas zonas mais críticas.

Para se perceber o efeito da escolha da malha foram feitas quatro simulações com malhas diferentes e fez-se uma comparação dos resultados obtidos.

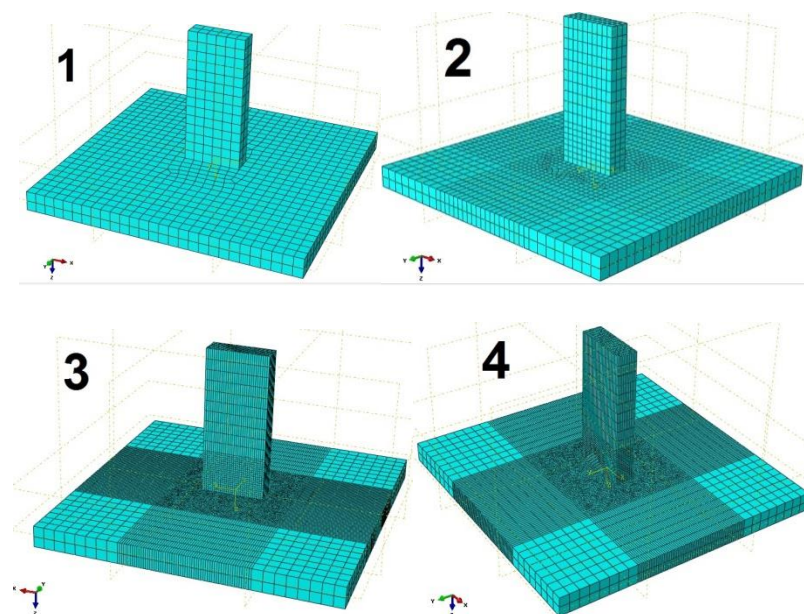


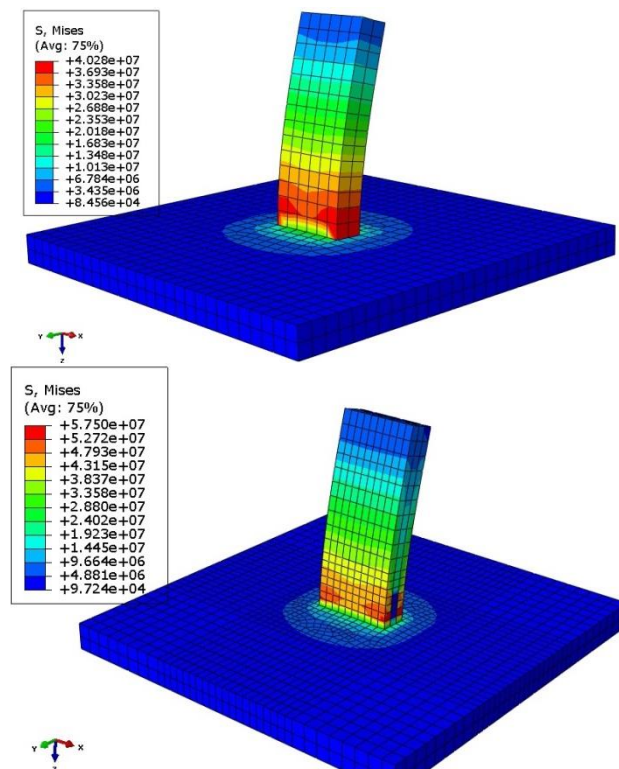
Fig. 4.24: As quatro malhas diferentes para o mesmo modelo.



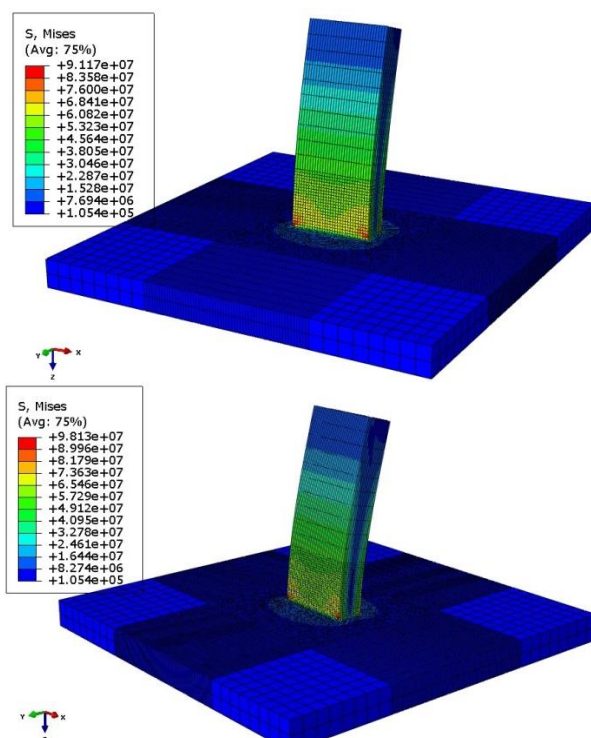
A malha 1 não tem qualquer refinamento, a malha 2 tem um refinamento grosseiro, a malha 3 tem um refinamento médio e a malha 4 tem um bom refinamento.

Foram feitas simulações das tensões de Von Mises para as quatro malhas utilizando o GPPS como material. Os resultados podem ser observados nas figuras 4.25 e 4.26.

De facto, houve uma discrepância enorme entre os resultados às diferentes malhas. A função “refinamento da malha” – “rigor dos resultados”, segue a forma aproximada de uma distribuição logarítmica, ou seja, só faz sentido refinar a malha até um certo ponto, onde ela já consegue garantir um resultado relativamente rigoroso. A partir desse ponto o número de cálculos vai aumentar drasticamente, as simulações vão demorar muito mais tempo e os resultados finais vão ser muito idênticos. Assim, para todos os modelos analisados, foi escolhida uma malha que se considerou ser o melhor balanço entre tempo de execução e rigor dos resultados obtidos.



**Fig. 4.25:** Resultados das simulações das malhas 1 e 2 para o mesmo modelo em GPPS.

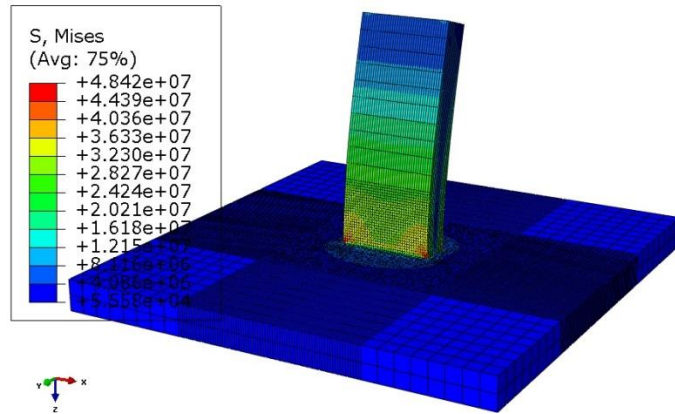


**Fig. 4.26:** Resultados das simulações das malhas 1 e 2 para o mesmo modelo em GPPS.

Os resultados das quatro simulações variaram entre 40,88MPa e 98,13 MPa, sendo os 98,13MPa o resultado mais preciso e que retrata melhor a realidade do processo. A partir deste ponto, notou-se que quanto mais se diminuía o tamanho dos elementos da malha (a fim de um melhor refinamento) o tempo de cálculo aumentava bastante e os resultados eram muito idênticos.

Comparando agora o resultado da simulação da palheta em GPPS com o resultado do cálculo analítico verifica-se uma diferença de valores na ordem dos 10%, o que na verdade não é uma diferença muito grande. Conclui-se então, que o cálculo analítico está, de facto, correto e continua a haver uma diferença enorme entre a tensão máxima gerada e a tensão de cedência do GPPS. A tensão máxima foi de 98,13MPa e a tensão de cedência é de 43MPa, menos de metade.

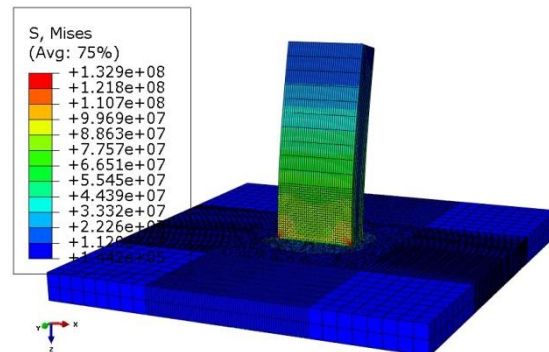
Apesar de se ter concluído que os cálculos analíticos estão corretos, também foram feitas simulações da palheta para os outros materiais.



**Fig. 4.27:** Resultado da simulação das tensões de *Von Mises*, *S*, para a palheta cujo material é o HIPS *STYRON A-Tech<sup>TM</sup> 1200*.

$$S_{\max}=48,42\text{MPa}$$

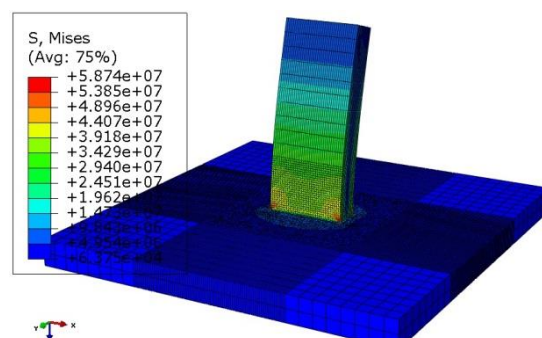
$$\sigma_{\text{ced}}=19,5\text{MPa}$$



**Fig. 4.28:** Resultado da simulação das tensões de *Von Mises*, *S*, para a palheta cujo material é o ABS *RTP 699*.

$$S_{\max}=132,29\text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{ced}}=25\text{MPa}$$

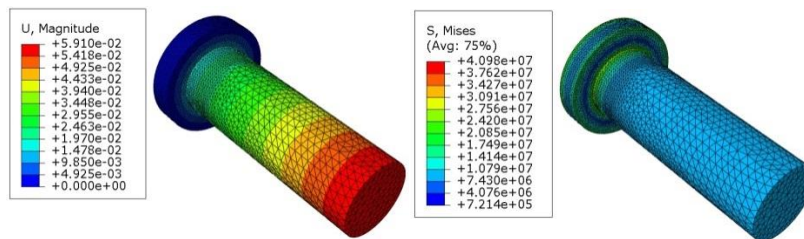


**Fig. 4.29:** Resultado da simulação das tensões de *Von Mises*, *S*, para a palheta cujo material é o RenShape<sup>TM</sup> SL 7810.

$$S_{\max}=58,74\text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{ced}}=39,3\text{MPa}$$

O pino é a estrutura principal que suporta o sistema à tração e mostrou ter algumas falhas nos ensaios mecânicos à tração, por isso não podia deixar de ser alvo de análise estrutural, principalmente a sua ponta em forma de seta que foi um insucesso completo. Portanto, as suas simulações foram divididas em duas partes: simulação do esforço na base do pino e simulação da sua ponta em forma de seta. A carga aplicada na simulação à tração foi de 200N, pois é o dobro da força estipulada como limite mínimo e está ligeiramente acima da força que as rolhas atuais com as mesmas dimensões suportam.

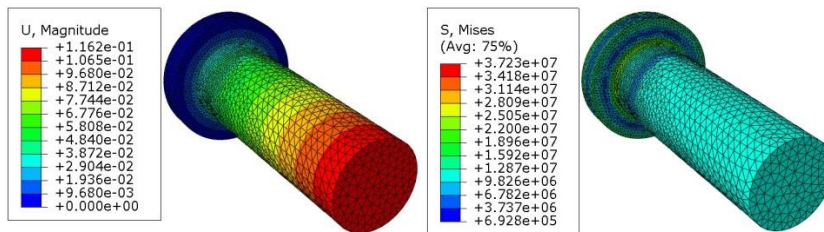


**Fig. 4.30:** Resultado da simulação dos deslocamentos, U, e tensões de *Von Mises*, S, para o pino cujo material é o *STYRON™ 678E*.

$$U_{\max} = 5,91 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 40,98 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{ced}} = 43 \text{ MPa}$$

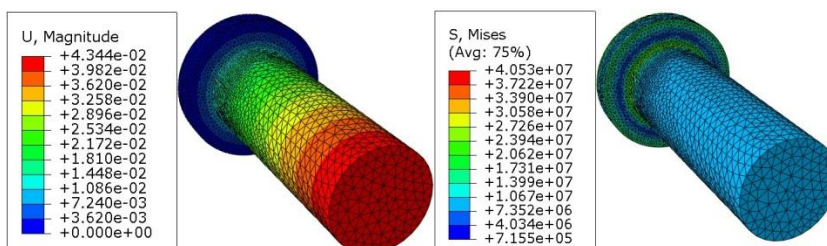


**Fig. 4.31:** Resultado da simulação dos deslocamentos, U, e tensões de *Von Mises*, S, para o pino cujo material é o *HIPS STYRON A-Tech™ 1200*.

$$U_{\max} = 0,12 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 37,23 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{ced}} = 19,50 \text{ MPa}$$

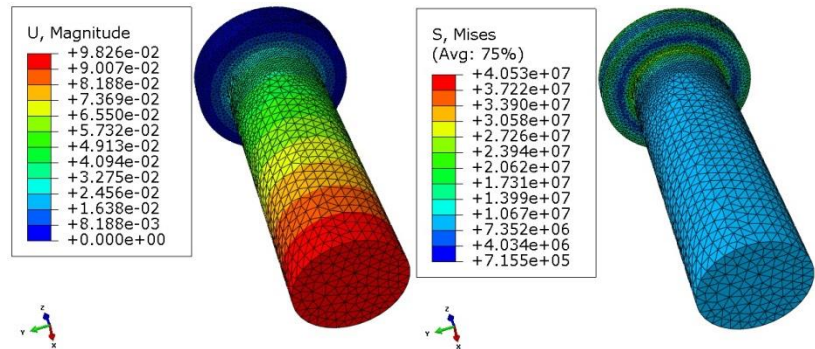


**Fig. 4.32:** Resultado da simulação dos deslocamentos, U, e tensões de *Von Mises*, S, para o pino cujo material é o *ABS RTP 699*.

$$U_{\max}=4,34 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$S_{\max}=40,53 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{ced}}=25 \text{ MPa}$$



**Fig. 4.33:** Resultado da simulação dos deslocamentos,  $U$ , e tensões de *Von Mises*,  $S$ , para o pino cujo material é o *RenShape<sup>TM</sup> SL 7810*.

$$U_{\max}=9,83 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

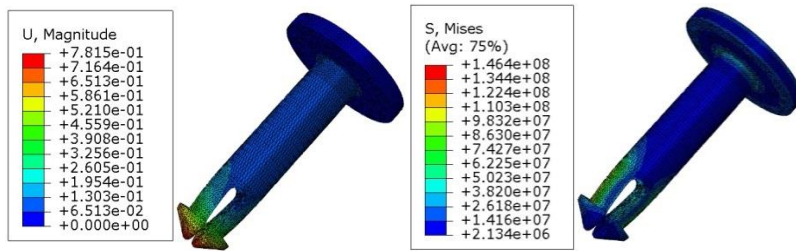
$$S_{\max}=40,53 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{ced}}=39,3 \text{ MPa}$$

De todos os materiais simulados, o que apresenta melhores resultados é o GPPS, cuja tensão máxima de *Von Mises* está abaixo da tensão de cedência. Em relação aos deslocamentos, todos eles são desprezáveis, no entanto o valor mais alto foi atingido pelo HIPS, como já era de esperar, dado que é o material menos rígido dos quatro simulados. Para melhorar os resultados, pode estudar-se a hipótese de aumentar o diâmetro do pino em todo o seu comprimento e assim aumentar a sua resistência à tração.

Agora é tempo de analisar a ponta da seta e perceber o que se passou nos ensaios para não ter resultado. Será verificado se de facto existe ou não deformação causada pela força à tração nas duas meias setas.



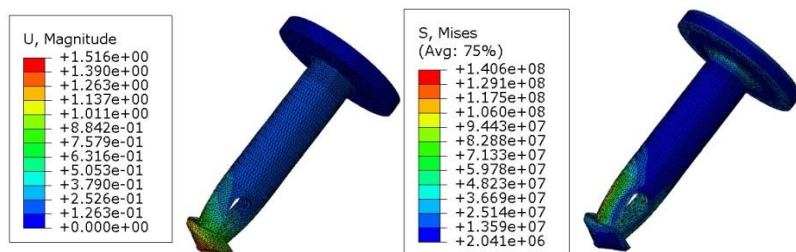


**Fig. 4.34:** Resultado da simulação dos deslocamentos,  $U$ , e tensões de *Von Mises*,  $S$ , para a seta do pino cujo material é o *STYRON<sup>TM</sup> 678E*.

$$U_{\max}=7,82 \times 10^{-1} \text{ mm}$$

$$S_{\max}=146,40 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{ced}}=43 \text{ MPa}$$

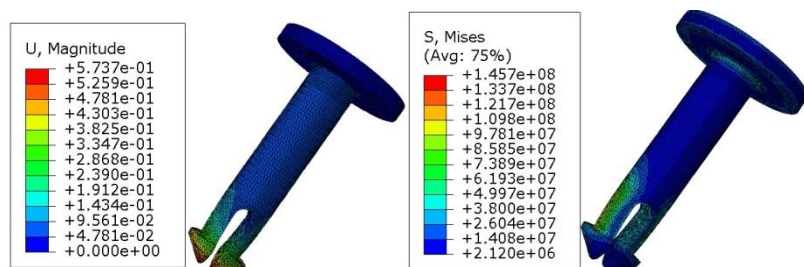


**Fig. 4.35:** Resultado da simulação dos deslocamentos,  $U$ , e tensões de *Von Mises*,  $S$ , para a seta do pino cujo material é o *HIPS STYRON A-Tech<sup>TM</sup> 1200*.

$$U_{\max}=1,52 \text{ mm}$$

$$S_{\max}=140,60 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{ced}}=19,5 \text{ MPa}$$

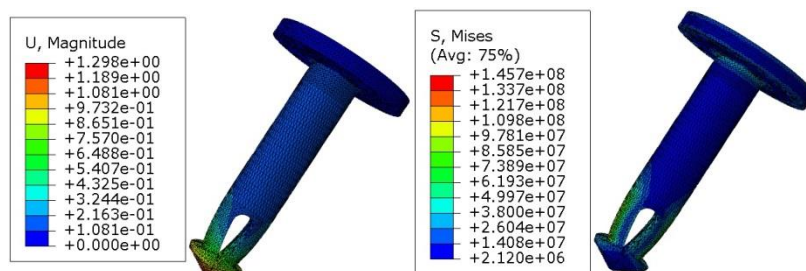


**Fig. 4.36:** Resultado da simulação dos deslocamentos,  $U$ , e tensões de *Von Mises*,  $S$ , para a seta do pino cujo material é o *ABS RTP 699*.

$$U_{\max}=5,74 \times 10^{-1} \text{ mm}$$

$$S_{\max}=145,70 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{ced}}=25 \text{ MPa}$$



**Fig. 4.37:** Resultado da simulação dos deslocamentos, U, e tensões de Von Mises, S, para a seta do pino cujo material é o RenShape<sup>TM</sup> SL 7810.

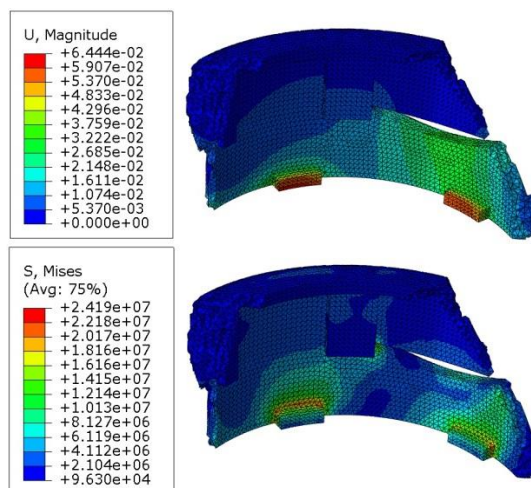
$$U_{\max}=1,30\text{mm}$$

$$S_{\max}=145,70\text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{ced}}=39,3\text{MPa}$$

De facto, as simulações demonstram que as duas meias setas não são solução para a tração. Devido à pouca robustez das setas e à carga de 200N, é criado um momento demasiado alto que provoca flexão as duas meias setas no sentido do espaço vazio entre as ambas, fazendo assim com que o pino se escape da bucha.

Outra estrutura do sistema que necessita de ser analisada é o conjunto de reenâncias da cápsula exterior que suportam a cápsula à tração.

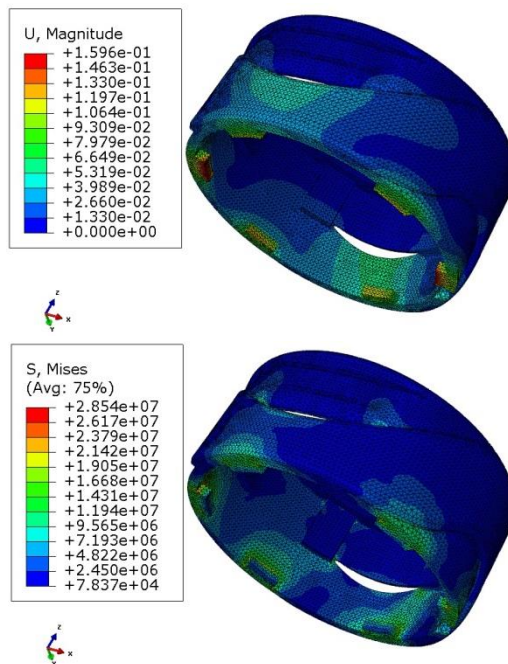


**Fig. 4.38:** Resultado da simulação dos deslocamentos, U, e tensões de Von Mises, S, para cápsula exterior cujo material é o STYRON<sup>TM</sup> 678E.

$$U_{\max}=6,44 \times 10^{-2}\text{mm}$$

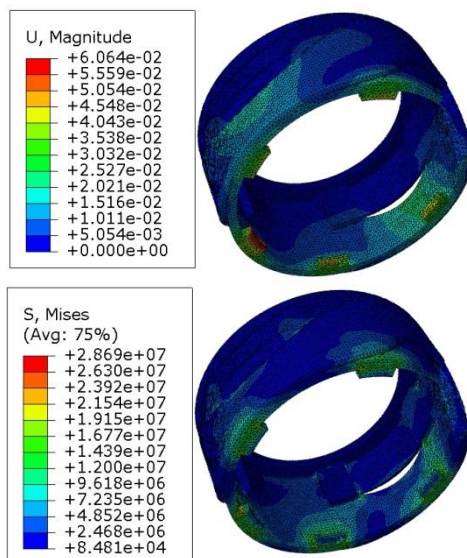
$$S_{\max}=24,19\text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{ced}}=43\text{MPa}$$



**Fig. 4.39:** Resultado da simulação dos deslocamentos,  $U$ , e tensões de *Von Mises*,  $S$ , para a cápsula exterior cujo material é o HIPS *STYRON A-Tech™ 1200*.

$U_{\max}=0,159\text{mm}$   
 $S_{\max}=28,54\text{MPa}$   
 $\sigma_{\text{ced}}=19,5\text{MPa}$



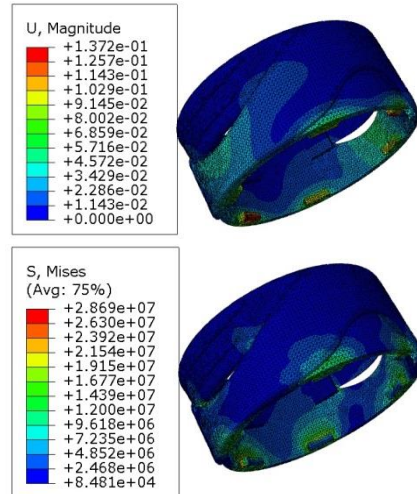
**Fig. 4.40:** Resultado da simulação dos deslocamentos,  $U$ , e tensões de *Von Mises*,  $S$ , para a cápsula exterior cujo material é o ABS *RTP 699*.



$$U_{\max}=6,06 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$S_{\max}=28,69 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{ced}}=25 \text{ MPa}$$



**Fig. 4.41:** Resultado da simulação dos deslocamentos,  $U$ , e tensões de *Von Mises*,  $S$ , para a cápsula exterior cujo material é o *RenShape<sup>TM</sup> SL 7810*.

$$U_{\max}=0,137 \text{ mm}$$

$$S_{\max}=28,69 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{ced}}=39,3 \text{ MPa}$$

Na simulação dos esforços à tração da cápsula exterior verificou-se um defeito num elemento da malha que obrigou à aplicação de uma operação booleana para removê-lo. Por vezes a malha é mal gerada e acontece haver um elemento que não corresponde à realidade e acusa sofrer uma tensão muito acima de todos os outros elementos, influenciando os resultados da simulação. Resolvido o problema, as simulações indicam que a geometria da cápsula exterior só resulta com o GPPS e com a resina da estereolitografia.

No geral, as simulações ditam que é necessário rever a solução no que toca aos esforços à tração no pino e a geometria das palhetas para que operem dentro de um regime de tensões seguro, sem risco de rutura ou entrada em regime plástico. Dado isto, pode-se concluir que a solução não está acabada e que precisa de ser alterada. No entanto, as alterações necessárias não são muito complexas e facilmente serão contornados os problemas detetados nas simulações estruturais.



## 4.4

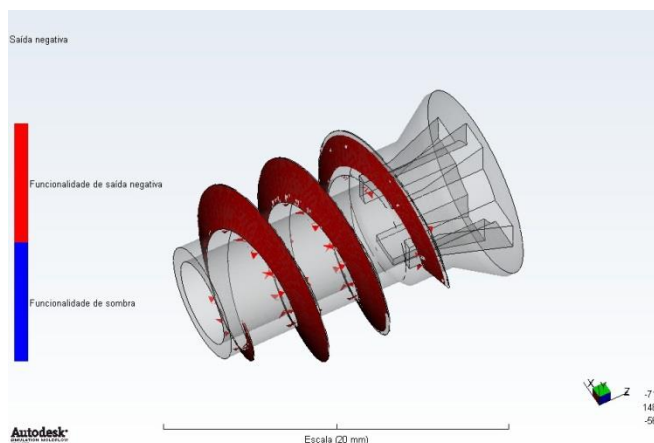
### SIMULAÇÃO DA INJEÇÃO

O conteúdo da introdução feita no sub-capítulo 3.6 “Simulação da injeção” do desenvolvimento do sistema de acoplamento é comum ao presente sub-capítulo 4.4. No entanto, como as simulações aos esforços e os ensaios mecânicos revelaram que a solução precisa ser alterada, seria inútil estar a colocar neste trabalho uma análise à injeção de componentes que precisam ser, desde já, modificados ao nível da sua geometria, o que influenciará os resultados da simulação da injeção. Não obstante, os componentes que necessitam alterações, possuem particularidades geométricas que se pretende manter, tal como a rosca da bucha ou o sistema de palhetas. Decidiu-se, então, fazer algumas simulações a essas peças para identificar possíveis problemas relacionados com a injeção. Foi uma abordagem muito simples mas serviu para manter o alerta.

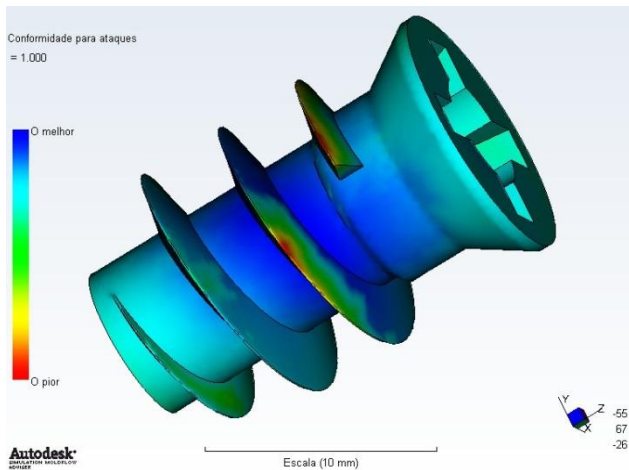
Foram simuladas as injeções de todos os componentes, mas como referido no paragrafo acima só algumas simulações importam colocar e demonstrar neste trabalho.

Após as simulações com os vários materiais descritos na introdução do sub-capítulo 3.6, o material que apresentou mais facilidade de adaptação à injeção foi mais uma vez o GPPS, e a peça que apresentou mais problemas foi a bucha.

Como a versão *Autodesk Moldflow Adviser*<sup>®</sup> não permite a escolha do plano de partição, a rosca da bucha é identificada como contrassaída, mas na verdade o plano de partição deveria conter o eixo da bucha e não ser perpendicular a este.

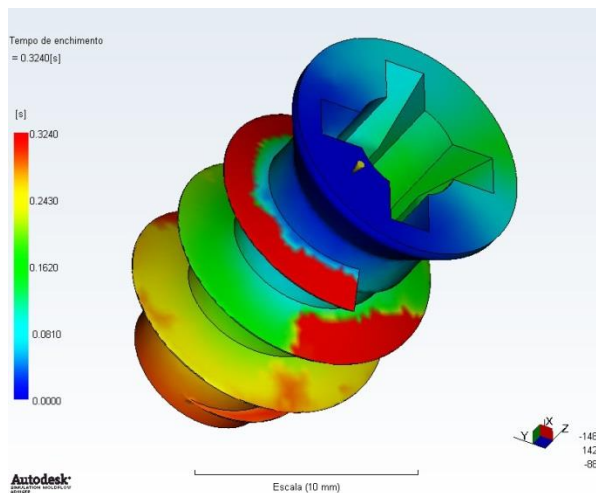


**Fig. 4.42:** Saídas negativas (bucha).



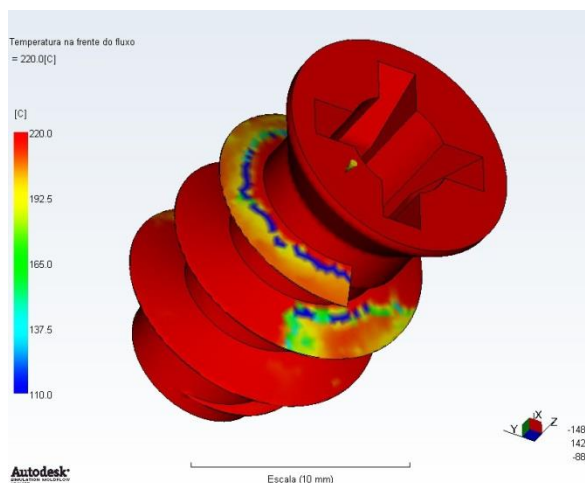
**Fig. 4.43:** Conformidade para ataques (bucha).

Apesar de o *software* nos indicar que a alimentação ideal é perpendicular ao plano cilíndrico e a meio comprimento, foram feitas duas simulações de enchimento com locais de ataque diferentes (um perpendicular ao plano cilíndrico e outro no topo da bucha). Nenhum dos dois teve ótimos resultados, mas como o plano de partição foi definido automaticamente como o topo da bucha, então fizeram-se as simulações com o ataque no topo.



**Fig. 4.44:** Prisões de ar (bucha).

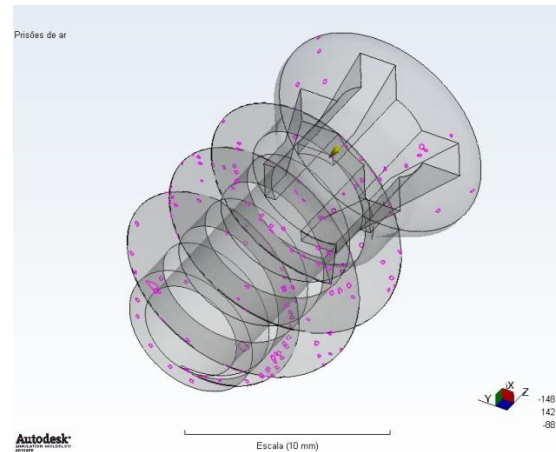
É no enchimento que reside o problema da injeção desta peça. As extremidades da rosca, em certas zonas, enchem demasiado tarde e ficam com qualidade de enchimento deficiente, podendo mesmo o molde não encher completamente.



**Fig. 4.45:** Temperatura da frente de fluxo (bucha).

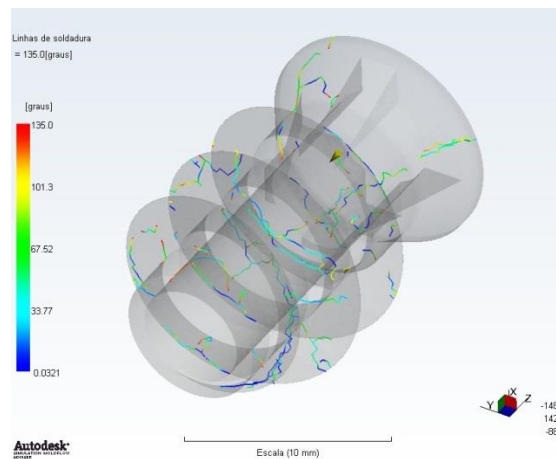
A temperatura da frente de fluxo não deveria variar mais que 5°C, mas como se pode observar, a variação de temperatura é enorme nas zonas onde ocorreu um enchimento deficiente.

Verificam-se também imensas prisões de ar o que provoca defeitos na peça que por sua vez perderá resistência mecânica. Nestes casos é necessário utilizar sistemas com escape de gases para que as prisões de ar sejam direcionadas para o exterior do molde.



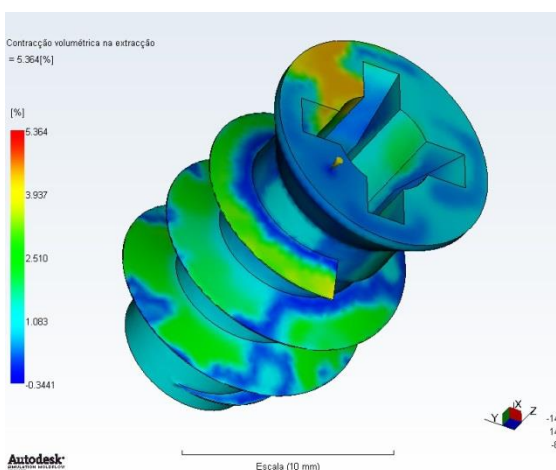
**Fig. 4.46:** Prisões de ar (bucha).

O enchimento da peça criou imensas linhas de soldadura que poderão diminuir a resistência mecânica, dependendo da amplitude do seu ângulo.



**Fig. 4.47:** Linhas de soldadura (bucha).

O ponto mais favorável na simulação da injeção da bucha foi a contração volumétrica da extração. A bucha não apresenta uma contração volumétrica muito grande o que representa alguma improbabilidade de empeno da peça. Mas isto não serve de nada se o enchimento for mau, tal como é o caso.



**Fig. 4.48:** Contração volumétrica da extração (bucha).

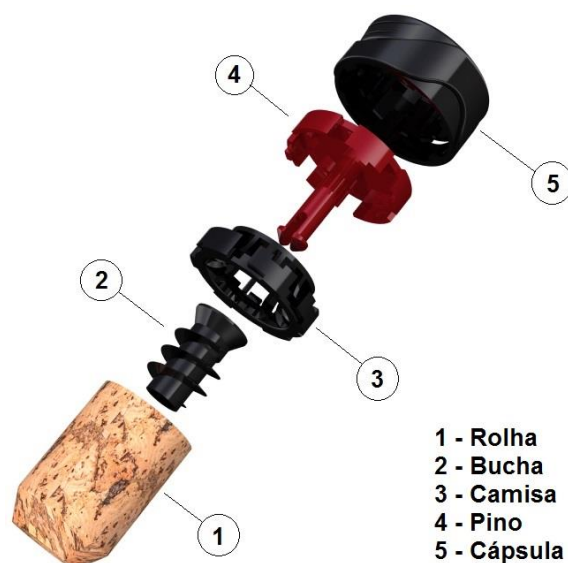
Segundo os resultados obtidos a bucha precisa ser repensada, e assim se conclui que o sistema à tração da solução não é praticável para já. Nem o pino ao nível estrutural nem a bucha ao nível da injeção obtiveram bons resultados nas simulações respetivas. É de salientar que a cápsula exterior obteve bons resultados ao nível da injeção ao contrário do que era esperado, devido à geometria das palhetas.

Para contornar os problemas derivados da injeção era importante entrar em contacto com consultores da área da injeção que conhecem os processos e técnicas mais recentes e têm a agilidade necessária para saber o que deve ser alterado na peça e como fazer. Para desenvolvimentos futuros, seria uma ajuda ótima e produtiva estar em contacto com profissionais desta área ao longo dos desenvolvimentos associados a este projeto.

## 4.5 PRODUTO FINAL

Como se teve oportunidade de comprovar nos sub-capítulos anteriores, o sistema de DV não está finalizado, mas tem ótimas hipóteses de funcionar corretamente e a curto prazo. Infelizmente, os quatro meses dedicados a este trabalho não foram suficientes para se chegar à construção de um sistema de DV irrefutável. Terá de haver um pouco mais de tempo para se chegar à solução final. O conceito está definido, o sistema mecânico incorporado na solução funciona na teoria, a estrutura obteve resultados ótimos à torção, seria uma pena não correr os poucos metros que faltam até à meta.

Como os componentes atuais necessitam de alterações geométricas, é natural que o esquema de montagem seja alterado. Portanto, neste sub-capítulo apresenta-se o aspeto final da rolha com o sistema de DV e uma abordagem superficial da montagem da mesma, dado que neste momento possui falhas e terá de ser alterada.



**Fig. 4.49:** Componentes da última versão do sistema de DV.

De seguida, é apresentada a sequência de montagem em cinco passos.

No primeiro passo a bucha é inserida dentro do furo da rolha com a ajuda de uma chave de fendas ou estrela.

## 1º Passo



**Fig. 4.50:** Aparafusamento da bucha na rolha.

Após a inserção da bucha na rolha, é colocada a peça que será responsável pela torção: a camisa. Neste passo, existem duas vertentes na montagem que ainda não estão completamente definidas. As duas vertentes são a montagem com ou sem pré-abertura de rasgos radiais. Para colocar a camisa é necessário que as lâminas radiais cravem na rolha. É suposto não ser necessário fazer uma pré-abertura de rasgos radiais para encaixar a camisa, ou seja, é suposto serem as próprias lâminas a abrirem os rasgos através da sua compressão com a rolha. No capítulo 3, foi discutida esta questão e ficou provado que os melhores resultados foram atingidos pelas lâminas que tinha a forma da ponta de uma espada, não sendo necessário fazer a pré-abertura.

## 2º Passo



**Fig. 4.51:** Colocação da camisa na rolha.



### 3º PASSO

O terceiro passo é a montagem do pino sobre a camisa e a bucha. O pino encaixa na bucha para o movimento à tração e na camisa para o movimento à torção. Nesta fase, o conjunto dos três componentes está completamente rígido, sem qualquer grau de liberdade ao movimento.



Fig. 4.52: Montagem do pino.

### 4º PASSO

No quarto passo, a cápsula exterior é colocada sobre a rolha. Foi neste ponto que se identificou um problema na montagem, quando se montaram os últimos protótipos em SLA. Este problema derivou de um erro de desenho no CAD da cápsula exterior. Tal como foi dito anteriormente, a geometria dos componentes terá de ser alterada e por consequência a sequência de montagem será afetada, principalmente neste ponto. No entanto, estarão dois movimentos inerentes ao processo de montagem da cápsula exterior. O primeiro é a compressão da cápsula contra a rolha e o segundo é a rotação da cápsula para posicionar as palhetas que se encontram no seu interior. Quando se exerce o movimento à compressão da cápsula, as palhetas sofrem uma flexão de 1mm em direção às paredes da cápsula (figura 4.53).



Fig. 4.53: Flexão das palhetas no interior da cápsula.

Depois da flexão das palhetas é necessário rodar a cápsula exterior para colocar as palhetas nos intervalos entre as lâminas radiais, como representado na figura 4.54.

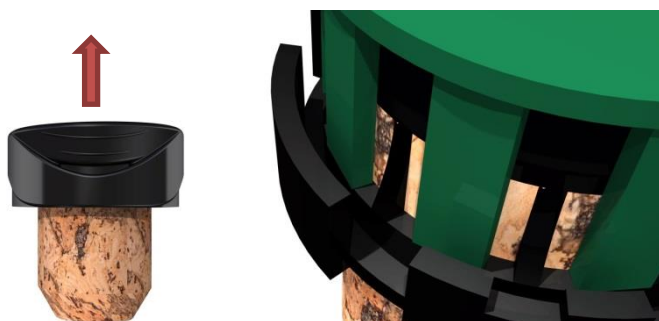
## 5º PASSO



**Fig. 4.54:** Rotação da cápsula (representada a verde).

Após a rotação, a rolha encontra-se pronta ser engarrafada. Depois, quando alguém tentar abrir a garrafa, a cápsula exterior sobe e as palhetas voltam ao seu estado inicial (sem flexão). Quando este movimento acontece, as palhetas ficam impedidas de voltar a descer porque a sua base fica em contacto com um degrau da camisa (figura 4.55). É neste ponto que se verifica a irreversibilidade do sistema, pois a partir deste momento não é possível voltar a descer a cápsula exterior sem destruir as palhetas ou a camisa.

## DISPARO DO SISTEMA



**Fig. 4.55:** Elevação da cápsula e retorno das palhetas à sua forma inicial.

Dado o sistema ser uma deteção de violação, quando a violação é detetada, o sistema tem de informar o utilizador de alguma forma. No caso deste sistema DV, essa informação é dada através da mudança de cor de uma zona da cápsula. A cápsula possui um furo passante com uma forma característica na parede da cápsula, que antes de se dar o disparo esse furo

## Aspetto final

deixa visível uma zona da camisa (de cor preta). Ao dar-se o disparo, a cápsula sobe e o furo passa a deixar visível a camisa (de cor vermelha) , tal como representado nas figuras 4.56 e 4.57. Assim, o utilizador é informado, através do aparecimento da cor vermelha, que houve uma tentativa de abertura/violação.



**Fig. 4.56:** Aspeto da nova rolha antes e depois do disparo do sistema DV.



**Fig. 4.57:** Aspeto da nova rolha engarrafada, antes e depois do disparo do sistema DV.





DESIGN**STUDIO**FEUP

**U.** PORTO  
**FEUP** FACULDADE DE ENGENHARIA  
UNIVERSIDADE DO PORTO





# CAPÍTULO 5





# CONSIDERAÇÕES FINAIS



## 5.1

### CONCLUSÕES

O balanço final deste projeto é positivo. Os objetivos foram atingidos quase na sua totalidade. O acoplamento é uma solução que resulta quer na teoria quer na prática e os seus resultados foram ótimos. No entanto, ainda podem ser melhorados como foi referido no capítulo 3. Os quatro meses de desenvolvimento do projeto não foram suficientes para se concluir os dois sistemas, porém, o sistema de deteção de violação tem uma base ótima e muito completa para ser alvo de desenvolvimento futuro, pois tal como está escrito no capítulo 4, a solução final está perto e não será necessário muito mais tempo de desenvolvimento.

Em relação ao desenvolvimento do acoplamento fica concluído que não existe qualquer problema na sua produção e montagem. Tanto as simulações dos esforços como as da injeção não revelaram qualquer problema. No que toca a moldes, foi consultado um profissional da área e questionado sobre a possibilidade de produzir as geometrias mais propícias a originarem problemas e a resposta foi positiva, não se pôs qualquer entrave à moldação e desmoldação das peças.

Em relação ao sistema DV, a maior conclusão foi a dificuldade inerente ao projeto de uma solução que detete uma violação com todas as imposições que o projeto tinha. Colocar-se na perspectiva do violador e pensar como ele, é absolutamente necessário para que um sistema deste tipo seja bem projetado. Outra conclusão que se retira deste projeto, é a importância de ter sempre presente as limitações do processo de produção do produto pretendido, durante a fase de definição de forma e geometria. Para além disso, ter sempre presente, também, noções de automação. O que é possível de automatizar e o que não é. Durante o seu desenvolvimento surgiram vários problemas que já foram descritos e comentados no capítulo 4. No entanto, são problemas relativamente fáceis de ultrapassar e que necessitam só de um pouco mais de desenvolvimento.

Concluo este trabalho deixando claro que adorei fazer parte deste projeto e ter tido a oportunidade de aprofundar os meus conhecimentos na área do desenvolvimento do produto. Foi ótimo poder desenhar soluções derivadas das minhas próprias ideias e vê-las ganhar vida através dos protótipos em SLA. Ter

esse tipo de liberdade, tanto incentiva e motiva a criatividade individual como acrescenta um sentido de responsabilidade que ajuda a crescer e a desenvolver as capacidades profissionais.

## 5.2

### PROPOSTAS PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Em primeiro lugar, proponho uma análise do ciclo de vida da duas soluções para conhecer o seu impacto ecológico. O sistema de acoplamento possui a grande vantagem de ser de fácil reciclagem. Basta partir a cápsula que facilmente se separa a cortiça do poliestireno. Já nas rolhas coladas não é possível reciclar todo o material que fica em contacto com a cola. Era interessante avaliar essa vantagem do acoplamento e comparar com a atual solução da T-Cork colada. Ainda na questão ecológica, seria muito interessante estudar a possibilidade de aplicação de polímeros naturais na produção das cápsulas, tornando a solução muito mais amiga do ambiente.

Proponho também que se entre em contacto com os produtores dos polímeros utilizados nas cápsulas e se saiba ao certo as propriedades mecânicas dos respetivos materiais, pois as fichas técnicas revelaram-se muito incompletas.

A sobremoldação é um processo que poderá ser muito interessante para substituir a cola. Proponho o estudo da sua aplicabilidade em relação à adesão entre os materiais e o efeito da injeção de termoplásticos a altas temperaturas sobre a cortiça.

Em relação ao acoplamento mecânico desenvolvido, proponho a otimização deste. Estudar a possibilidade de atingir resistência a esforços à tração superiores a 200N (para a gama de rolhas com 19,5mm de diâmetro).

Em relação ao sistema de deteção de violação, proponho a junção da bucha com o pino numa peça só. Esta alteração iria obrigar a alterar a sequência de montagem e provavelmente a geometria da camisa e da cápsula exterior. No entanto, é muito provável que a solução final passe por esta alteração, passando o sistema a ser constituído não por quatro, mas sim por três peças.

Por fim, proponho a construção de uma máquina de ensaios que faça o enrolamento e desenrolamento da rolha com o novo acoplamento, a fim de prevêr o tempo de vida do novo sistema.



# BIBLIOGRAFIA





### 5.3

#### REFERÊNCIAS

- [1] BILCARETECH, [www.bilcaretech.com](http://www.bilcaretech.com), acessado a 02-05-2013
- [2] Patent Lens, [www.patentlens.net](http://www.patentlens.net), acessado a 06-05-2013.
- [3] PROOFTAG, [www.prooftag.net](http://www.prooftag.net), acessado a 02-05-2013.
- [4] Google Patents, [www.google.com/patents](http://www.google.com/patents), acessado a 06-05-2013.
- [5] ALUCAPS GROUP, [www.alucapsgroup.com](http://www.alucapsgroup.com), acessado a 22-05-2013.
- [6] Metal Packing Manufacturers Association, [www.mpma.org.uk](http://www.mpma.org.uk), acessado a 16-05-2013.
- [7] GUALA CLOSURES, [www.gualaclosures.com](http://www.gualaclosures.com), acessado a 16-05-2013.
- [8] Cunha, A. Moldação por Injeção e Materiais Plásticos. Manual Do Projetista para Moldes de Injeção de Plástico. Centimfe, 2003.
- [9] Instituto Politécnico de Leiria – IPL, [www.wiki.ued.ipleiria.pt](http://www.wiki.ued.ipleiria.pt), acessado a 12-06-2013.
- [10] Rocha, V. C. Machado, *Desenvolvimento de pavimento flutuante com aglomerado de cortiça, de desempenho acústico otimizado*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, FEUP, 2012.
- [11] Heidelberg business media GmbH, Polymers in the automotive industry, vol. 4, No. 01-02, 2006.
- [12] Goodship, V. Practical Guide to Injection Moulding. Publishamerica Inc, 2004.
- [13] UL Ides, [www.plastics.ides.com](http://www.plastics.ides.com), acessado a 17-06-2013.
- [14] Encyclopedia Britannica, [www.britannica.com](http://www.britannica.com), acessado a 17-06-2013.

[15] Designsit.dk, lists applications. Retrieved 27 October 2006

[16] Oliveira, M. e Oliveira, L., A cortiça, Corticeira Amorim S.G.P.S., Rio de Mouro, 2000.

[17] Grupo AMORIM, [www.amorim.com](http://www.amorim.com), acedido a 24-06-2013.

[18] Mourão, P., A Cortiça: Outras Aplicações, Universidade de Évora – Departamento de Química.

[19] Boletim da Rede Ibérica - Edição estatística de fevereiro de 2012. WWF - World Wide Fund for nature, 2012.

[20] APCOR - Associação Portuguesa de Cortiça, [www.apcor.pt](http://www.apcor.pt), acedido a 24-06-2013.

[21] Amorim France, [www.amorimfrance.fr](http://www.amorimfrance.fr), acedido a 24-06-2013.

[22] Custom Part, [www.custompartnet.com](http://www.custompartnet.com), acedido a 25-06-2013.

[23] Gonçalves, N. V. Pereira, *Ferramentas moldantes para a obtenção de sistemas bi-material*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, UA, 2012.

[24] Silva, S. Marques, *Simulação numérica e otimização em conformação plástica de chapas metálicas*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, UA, 2010.

[25] Oliveira, J. M. Duarte, *Otimização da Estrutura Metálica de um Banco de Veículos de Emergência Médica*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, FEUP, 2012.

[26] Dados fornecidos em conversa pela Eng. Fátima Oliveira, funcionária da RARO.

[27] Société Liège Entreprise, [www.liege-entreprise.com](http://www.liege-entreprise.com), acedido a 29-06-2013.

[28] Sebenta da disciplina de Mecânica das Estruturas, Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

[29] Amorim Cork America, [www.amorimca.com](http://www.amorimca.com), acedido a 22-06-2013.



# ANEXOS



# ANEXO A

Fichas técnicas dos materiais utilizados:

*STYRON<sup>TM</sup> 678E*

HIPS *STYRON A-Tech<sup>TM</sup> 1200*

ABS *RTP 699*

*RenShape<sup>TM</sup> SL 7810*





## STYRON™ 678E General Purpose Polystyrene Resin

**Descrição geral** STYRON 678E é um poliestireno de uso geral com boa fluidez e resistência. Foi criado para revestimentos de tampas com moldagem por injeção e para ser usado puro ou em misturas com outros polímeros de alto impacto e boa fluidez em aplicações de moldagem por injeção.

**Aplicações:**

- Embalagens com paredes finas
- Revestimento de tampas por coextrusão

**Atende às regulamentações:**

- Atende às regulamentações europeias EU-Directive 2002/72/EC
- U.S. FDA 21 CFR 177,1640
- Consulte as regulamentações para obter mais detalhes.

<b>Físicas</b>	<b>Valor Típico (Inglês)</b>	<b>Valor Típico (Métrico)</b>	<b>Método</b>
Densidade	1,05 g/cm <sup>3</sup>	1,05 g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183
Densidade aparente	0,60 g/cm <sup>3</sup>	0,60 g/cm <sup>3</sup>	ISO 60
Índice de Fluidez (200°C/5,0 kg)	11 g/10 min	11 g/10 min	ISO 1133
<b>Mecânicas</b>	<b>Valor Típico (Inglês)</b>	<b>Valor Típico (Métrico)</b>	<b>Método</b>
Esforço de tensão (Limite de elasticidade)	6240 psi	43,0 MPa	ISO 527-2/5
Deformação por tensão (Na Ruptura)	2,0 %	2,0 %	ISO 527-2/5
Módulo de Flexão	508000 psi	3500 MPa	ISO 178
Resistência à flexão	11600 psi	80,0 MPa	ISO 178
<b>Dureza</b>	<b>Valor Típico (Inglês)</b>	<b>Valor Típico (Métrico)</b>	<b>Método</b>
Dureza Rockwell (R Escala)	105	105	ISO 2039-2
Dureza de penetração da bola	21800 psi	150 MPa	ISO 2039-1
<b>Térmicas</b>	<b>Valor Típico (Inglês)</b>	<b>Valor Típico (Métrico)</b>	<b>Método</b>
Temperatura de deflecção do calor			
66 psi (0,45 MPa), Condicionado	187 °F	86,0 °C	ISO 75-2/B
264 psi (1,8 MPa), Condicionado	180 °F	82,0 °C	ISO 75-2/A
Temperatura de Amolecimento Vicat			
--	199 °F	93,0 °C	ISO 306/A120
--	187 °F	86,0 °C	ISO 306/B50
<b>Elétricas</b>	<b>Valor Típico (Inglês)</b>	<b>Valor Típico (Métrico)</b>	<b>Método</b>
Factor de dissipação (1 MHz)	0,000060	0,000060	ASTM D150
<b>Flamabilidade</b>	<b>Valor Típico (Inglês)</b>	<b>Valor Típico (Métrico)</b>	<b>Método</b>
Classificação da chama UL			UL 94 <sup>1</sup>
0,0630 in (1,60 mm)	HB	HB	

### Notas

Estas são apenas propriedades típicas e não devem ser consideradas como especificações. Os utilizadores devem confirmar os resultados efectuando os seus próprios testes.

<sup>1</sup> Esta classificação não pretende reflectir os perigos apresentados por este ou por qualquer outro material em condições reais de incêndio.



## STYRON A-TECH™ 1200 Polystyrene Resin

**Descrição geral** STYRON A-Tech 1200 é uma resina de poliestireno de alto impacto (HIPS) recentemente desenvolvida com base numa tecnologia patenteada pela Styron. A plataforma tecnológica da STYRON A-Tech possibilita a eliminação dos típicos intercâmbios entre as principais propriedades do HIPS, inclusive dureza, brilho, rigidez e processabilidade.

**Principais Características:**

- Combinação única de resistência e rigidez
- Fácil processamento
- Excelente comportamento de termoformagem
- Boa capacidade de mistura com Poliestireno de Uso Geral (GPPS)
- Permite redução de espessura

**Aplicações:**

- Sistema de envase automático FFS (Form Fill Seal)
- Pré-Moldados (DFS)
- Copos descartáveis

**Atende às regulamentações:**

- Atende às regulamentações europeias EU-Directive 2002/72/EC
- U.S. FDA 21 CFR 177,1640
- Consulte as regulamentações para obter mais detalhes.

Físicas	Valor Típico (Inglês)	Valor Típico (Métrico)	Método
Densidade	1,05 g/cm <sup>3</sup>	1,05 g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183
Densidade aparente	0,60 g/cm <sup>3</sup>	0,60 g/cm <sup>3</sup>	ISO 60
Índice de Fluidez (200°C/5,0 kg)	5,0 g/10 min	5,0 g/10 min	ISO 1133
Mecânicas	Valor Típico (Inglês)	Valor Típico (Métrico)	Método
Módulo de Tensão	254000 psi	1750 MPa	ISO 527-2/1
Esforço de tensão			ISO 527-2/5
Limite de elasticidade	2830 psi	19,5 MPa	
Na Ruptura	3190 psi	22,0 MPa	
Deformação por tensão nominal na ruptura	65 %	65 %	ISO 527-2/5
Módulo de Flexão	283000 psi	1950 MPa	ISO 178
Resistência à flexão	5510 psi	38,0 MPa	ISO 178
Impacto	Valor Típico (Inglês)	Valor Típico (Métrico)	Método
Impacto Izod com entalhe	6,4 ft·lb/in <sup>2</sup>	14 kJ/m <sup>2</sup>	ISO 180
Térmicas	Valor Típico (Inglês)	Valor Típico (Métrico)	Método
Temperatura de Amolecimento Vicat	212 °F	100 °C	ISO 306/A120

### Notas

Estas são apenas propriedades típicas e não devem ser consideradas como especificações. Os utilizadores devem confirmar os resultados efectuando os seus próprios testes.





## Product Data Sheet & General Processing Conditions

### RTP 699 X 81044 F Z Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) Mineral High Gravity Compound FDA Compliant Ingredients

Mineral filled high gravity compound with FDA ingredients. That product can also be vacuum plated.

#### PROPERTIES & AVERAGE VALUES OF INJECTION MOLDED SPECIMENS

PERMANENCE		STANDARD
Density	2.00 g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183
Shrinkage, 4 mm Thickness		
Flow direction	0.30 - 0.50 %	ISO 294-4
Water Absorption, 24 hrs @ 23°C	0.02 %	ISO 62

#### MECHANICAL

Impact Strength, Izod		
Notched, 4 mm thickness	2 kJ/m <sup>2</sup>	ISO 180/1A
Unnotched, 4 mm thickness	10 kJ/m <sup>2</sup>	ISO 180/1U
Tensile Strength	25 MPa	ISO 527
Tensile Elongation	1.0 - 2.0 %	ISO 527
Tensile Modulus	4750 MPa	ISO 527
Flexural Strength	45 MPa	ISO 178
Flexural Modulus	4000 MPa	ISO 178

#### ELECTRICAL

Volume Resistivity	> 1E14 ohm.cm	IEC 60093
Surface Resistivity	> 1E14 ohm	IEC 60093
		ESD STM11.11

#### THERMAL

Ignition Resistance*		
Flammability**	HB @ 1.5 mm	ISO 1210

#### PROPERTY NOTES

Data herein is typical and not to be construed as specifications.

Unless otherwise specified, all data listed is for natural or black colored materials. Pigments can affect properties.

\* This rating is not intended to reflect hazards of this or any other material under actual fire conditions.

\*\* Values per RTP Company testing.

#### GENERAL PROCESSING FOR INJECTION MOLDING

Injection Pressure	70 - 105 MPa
Injection Pressure	680 - 1030 bar
Melt Temperature	205 - 240 °C
Mold Temperature	60 - 95 °C
Drying	2 hrs @ 80 °C
Moisture Content	0.10 %
Dew Point	-25 °C



# 7810 RenShape® SL

**HUNTSMAN**

Enriching lives through innovation

RenShape® SL 7810 stereolithography material is an opaque white, low viscosity resin that produces accurate and durable parts with ABS-like performance and appearance. It produces robust, white models and prototypes with a high gloss fine surface finish and detail. It is particularly suitable for RTV patterns and can be used on solid state SLA® platforms. Parts built with SL 7810 exhibit durability over time beyond 6 months.

## Liquid material

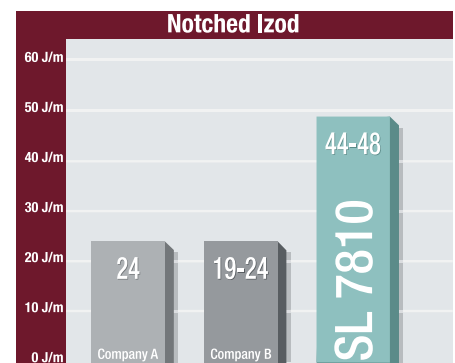
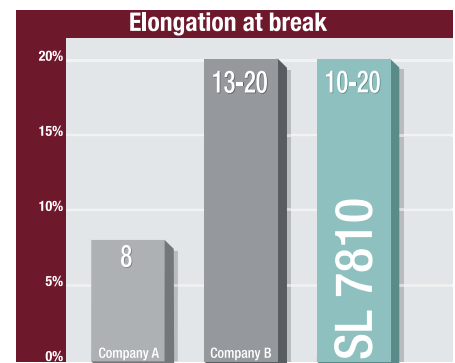
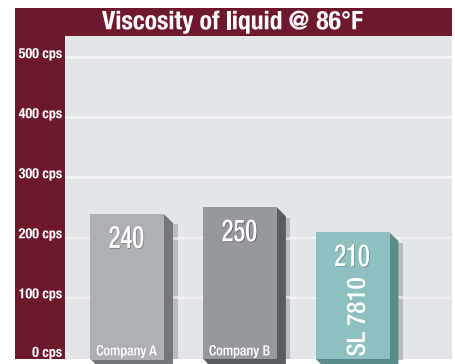
<b>Appearance</b>	White liquid
<b>Density</b> at 77°F	1.13 g/cm <sup>3</sup>
<b>Viscosity</b>	
at 82°F	240 cps
at 86°F	210 cps
<b>Penetration depth (Dp)</b>	5.6 mils
<b>Critical exposure (Ec)</b>	9.9 mJ/cm <sup>2</sup>
<b>Part building layer thickness*</b>	0.004 in.

\* Dependent upon part geometry and build parameters

## Post-cured material

	90-minute UV post-cure	90-minute UV + 2 hours @ 176°F thermal post-cure
<b>Hardness</b> ASTM D-2240	86 Shore D	87 Shore D
<b>Flexural modulus</b> ASTM D-790	275-348 ksi	304-348 ksi
<b>Flexural strength</b> ASTM D-790	8 500-10 000 psi	9 000-10 000 psi
<b>Tensile modulus</b> ASTM D-638	260-348 ksi	290-348 ksi
<b>Tensile strength</b> ASTM D-638	5 200-7 400 psi	5 700-7 400 psi
<b>Elongation at break</b> ASTM D-638	10-20%	10-14%
<b>Impact strength, notched Izod</b> ASTM D-256	0.83-0.91 ft.-lb./in.	0.83-0.93 ft.-lb./in.
<b>Heat deflection temperature</b> ASTM D-648 @ 66 psi	124°F	122°F
<b>Glass transition, Tg</b> DMA, E" peak	144°F	144°F
<b>Coefficient of thermal expansion</b> TMA (T<Tg)	96x10 <sup>-6</sup> / °C	99x10 <sup>-6</sup> / °C
<b>Cured density</b>	1.16 g/cm <sup>3</sup>	—

## Comparison tables



Huntsman Advanced Materials (Americas) Inc, Americas Customer Service Center, 10003 Woodloch Forest Drive, The Woodlands, Texas 77380, USA • Tel +1 281 719 6000  
Fax +1 281 719 6416 • Fax +1 713 235 6416 • [advanced\\_materials@huntsman.com](mailto:advanced_materials@huntsman.com) • [www.huntsman.com/advanced\\_materials](http://www.huntsman.com/advanced_materials)

Sales of the product described herein ("Product") are subject to the general terms and conditions of sale of either Huntsman Advanced Materials LLC, or its appropriate affiliate including without limitation Huntsman Advanced Materials (Europe) BVBA, Huntsman Advanced Materials Americas Inc., or Huntsman Advanced Materials (Hong Kong) Ltd. ("Huntsman"). The following supersedes Buyer's documents.

Huntsman warrants that at the time and place of delivery all Products sold to Buyer shall conform to the specifications provided to Buyer by Huntsman.

While the information and recommendations included in this publication are, to the best of Huntsman's knowledge, accurate as of the date of publication, NOTHING CONTAINED HEREIN (EXCEPT AS SET FORTH ABOVE REGARDING CONFORMANCE WITH SPECIFICATIONS PROVIDED TO BUYER BY HUNTSMAN) IS TO BE CONSTRUED AS A REPRESENTATION OR WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ANY WARRANTY OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, NON-INFRINGEMENT OF ANY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS, OR WARRANTIES AS TO QUALITY OR CORRESPONDENCE WITH PRIOR DESCRIPTION OR SAMPLE, AND THE BUYER ASSUMES ALL RISK AND LIABILITY WHATSOEVER RESULTING FROM THE USE OF SUCH PRODUCT, WHETHER USED SINGLY OR IN COMBINATION WITH OTHER SUBSTANCES.

No statements or recommendations made herein are to be construed as a representation about the suitability of any Product for the particular application of Buyer or user or as an inducement to infringe any patent or other intellectual property right. Buyer is responsible to determine the applicability of such information and recommendations and the suitability of any Product for its own particular purpose, and to ensure that its intended use of the Product does not infringe any intellectual property rights.

The Product may be or become hazardous. The Buyer should obtain Material Safety Data Sheets and Technical Data Sheets from Huntsman containing detailed information on Product hazards and toxicity, together with proper shipping, handling and storage procedures for the Product, and should comply with all applicable governmental laws, regulations and standards relating to the handling, use, storage, distribution and disposal of, and exposure to the Product. Buyer shall also take all steps necessary to adequately inform, warn and familiarize its employees, agents, direct and indirect customers and contractors who may handle or be exposed to the Product of all hazards pertaining to and proper procedures for safe handling, use, storage, transportation and disposal of and exposure to the Product, and the containers or equipment in which the Product may be handled, shipped or stored.

RenShape® is a registered trademark of Huntsman Corporation or an affiliate thereof in one or more, but not all, countries. © 2007 Huntsman Advanced Materials Americas Inc.





# ANEXO B

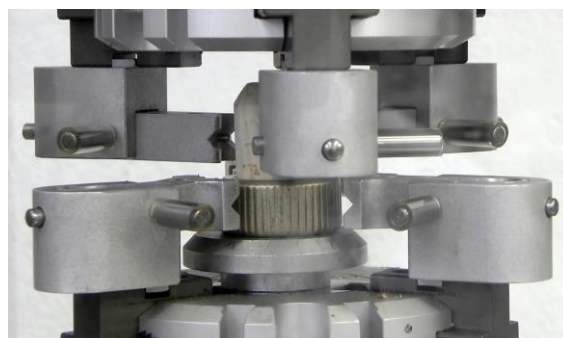
Exemplo em modelo fotográfico de um ensaio  
à tração e um ensaio à torção  
realizado na RARO



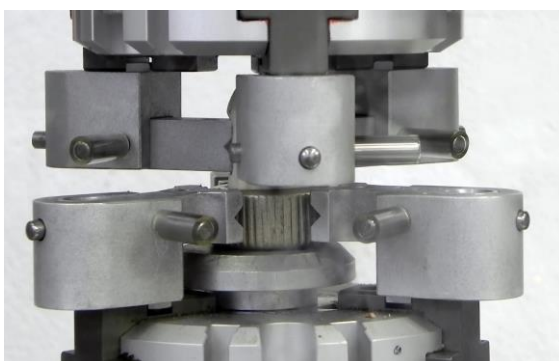
# Ensaio à Tração



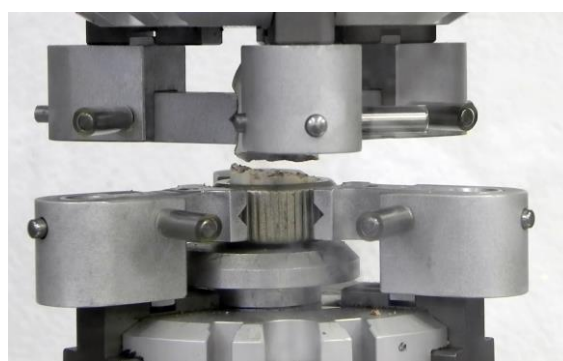
**Passo 1:** Colocação da rolha no prato de aperto da máquina.



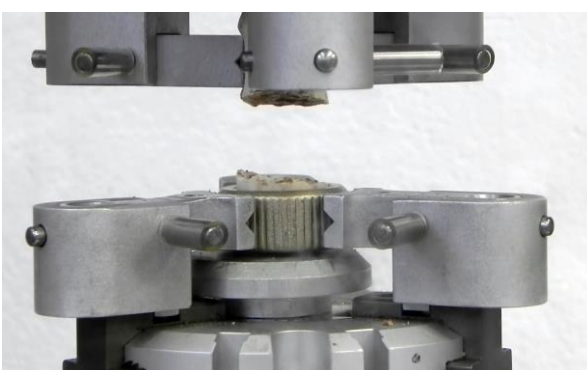
**Passo 2:** Posicionamento dos mordentes superiores.



**Passo 3:** Aperto dos mordentes superiores e inferiores e início da tração.



**Passo 4:** Ocorrência da ruptura após a tração da rolha.



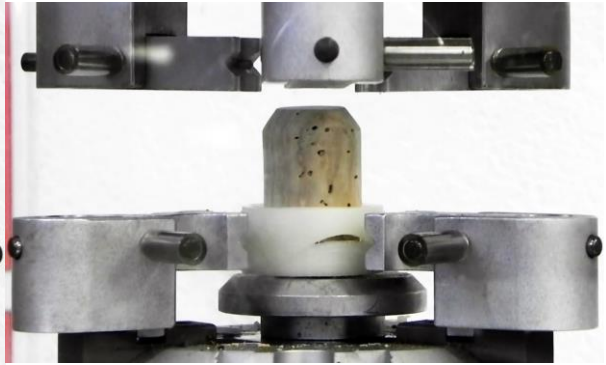
**Passo 5:** Elevação dos mordentes superiores e abertura dos mordentes.



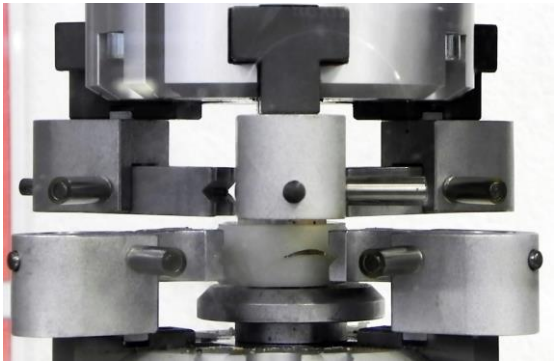
# Ensaio à Torção



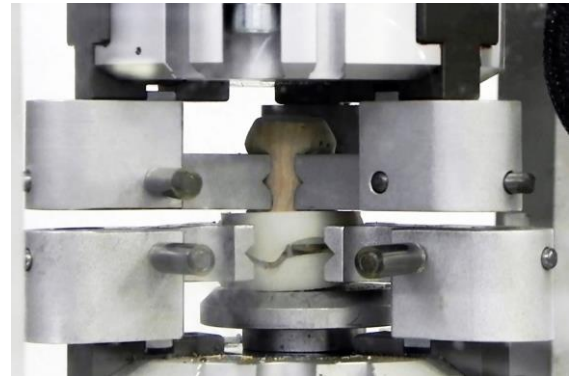
**Passo 1:** Colocação da rolha no prato de aperto da máquina.



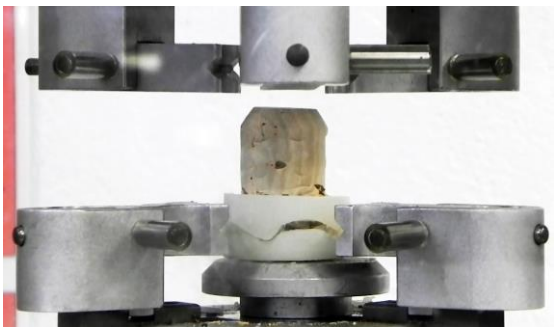
**Passo 2:** Posicionamento dos mordentes superiores.



**Passo 3:** Aperto dos mordentes superiores e inferiores e início da torção.



**Passo 4:** Torção até 40° (qualquer ângulo pode ser definido) e ocorrência da ruptura parcial da rolha (não está visível porque ocorreu dentro da cápsula).



**Passo 5:** Elevação dos mordentes superiores e abertura dos mordentes.

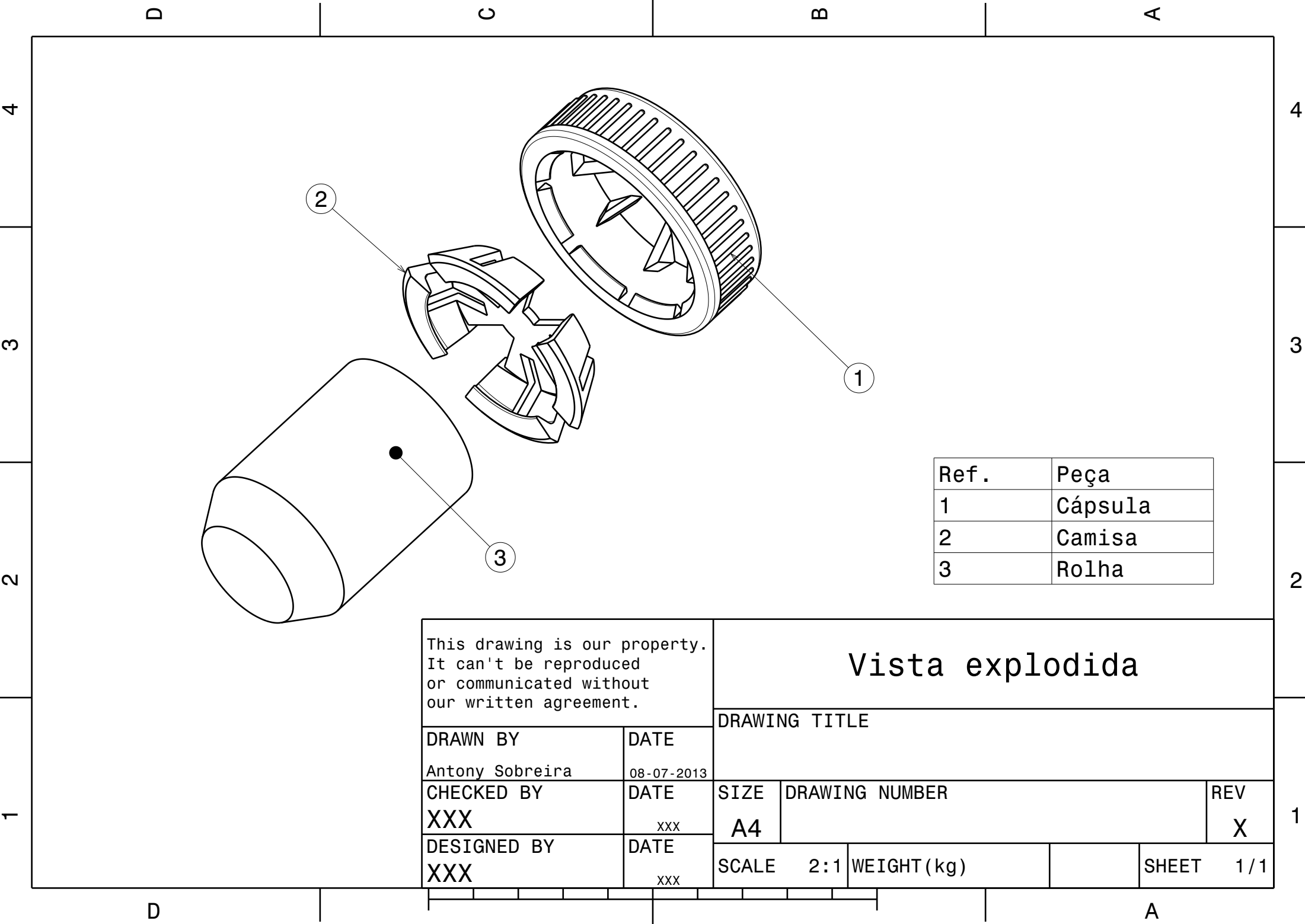


# ANEXO C

Desenhos técnicos do sistema de acoplamento  
com as suas dimensões principais



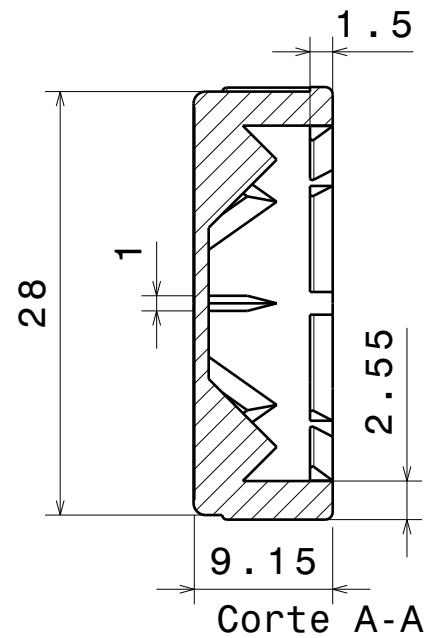
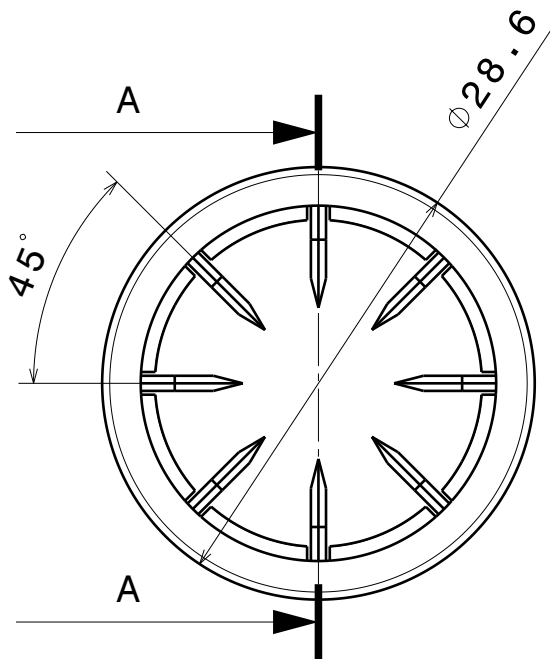




Ref.	Peça
1	Cápsula
2	Camisa
3	Rolha

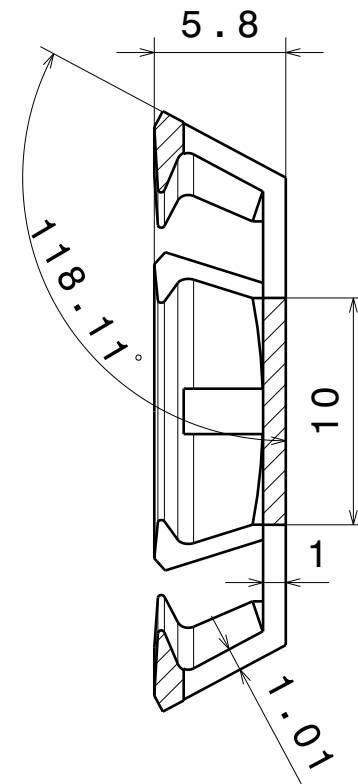
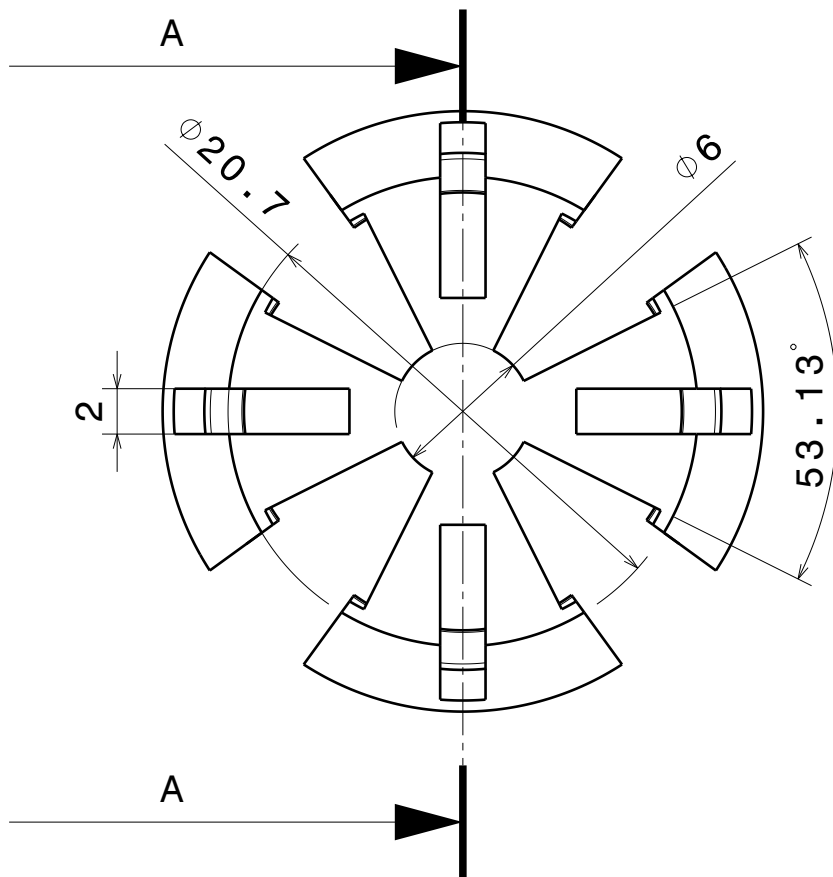
This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.		Vista explodida					
DRAWN BY		DATE		DRAWING TITLE			
Antony Sobreira		08-07-2013					
CHECKED BY		DATE		SIZE	DRAWING NUMBER		REV
XXX		xxx		A4			X
DESIGNED BY		DATE		SCALE		WEIGHT(kg)	SHEET
XXX		xxx		2:1			1 / 1





This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.		Cápsula do acoplamento			
		DRAWING TITLE			
DRAWN BY	DATE	SIZE	DRAWING NUMBER		REV
Antony Sobreira	08-07-2013				X
CHECKED BY	DATE		WEIGHT(kg)		SHEET
XXX	xxx	A4			
DESIGNED BY	DATE	SCALE	2:1		1/1
XXX	xxx				





Corte A-A

This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.		Camisa do acoplamento					
		DRAWING TITLE					
DRAWN BY	DATE						
Antony Sobreira	08-07-2013						
CHECKED BY	DATE	SIZE	DRAWING NUMBER			REV	
XXX	xxx	A4				X	
DESIGNED BY	DATE	SCALE		3 : 1		WEIGHT (kg)	
XXX	xxx					SHEET 1 / 1	



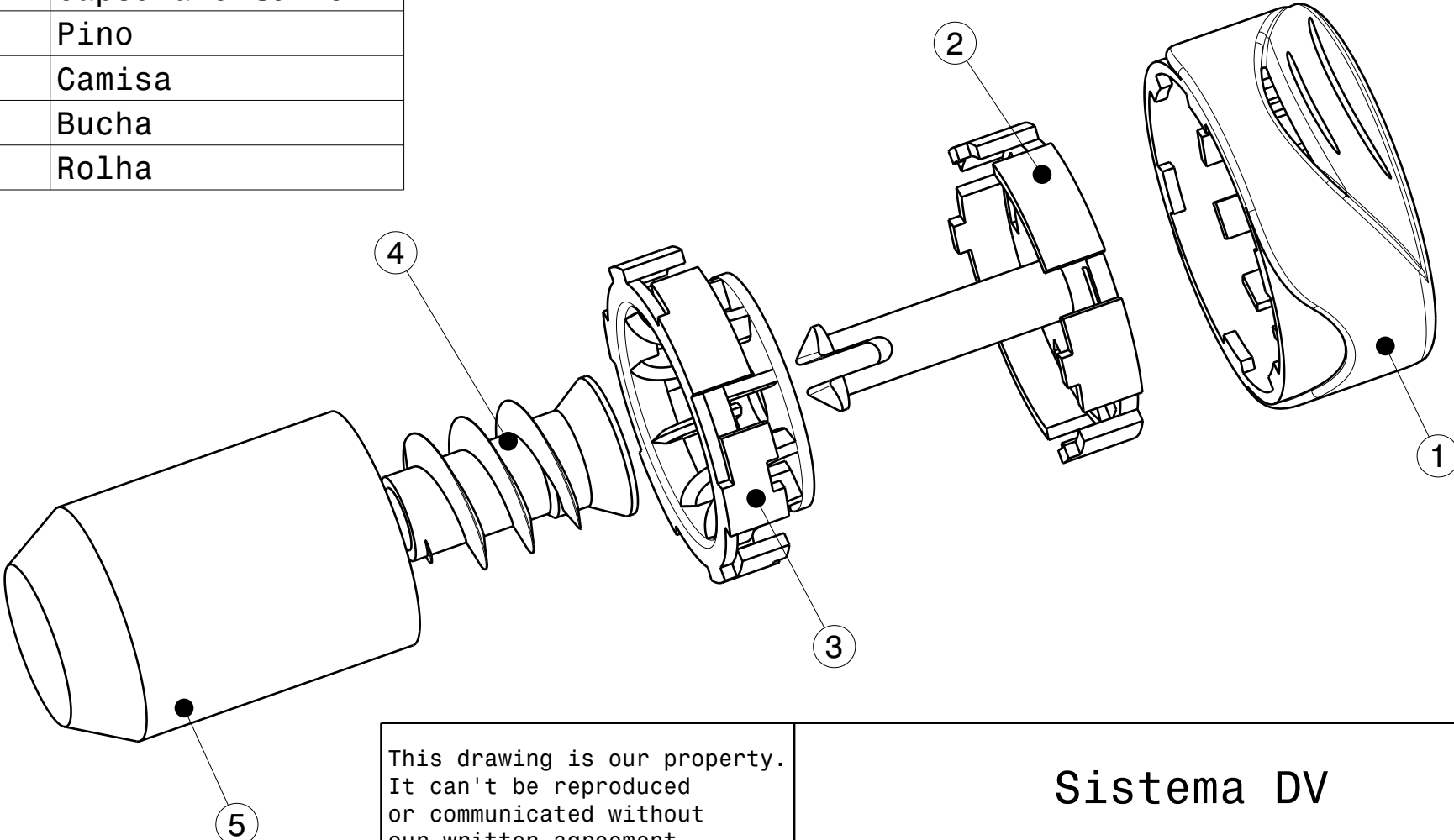
# ANEXO D

Desenhos técnicos do sistema de detecção de  
violação com as suas dimensões principais





Ref.	Peça
1	Cápsula exterior
2	Pino
3	Camisa
4	Bucha
5	Rolha

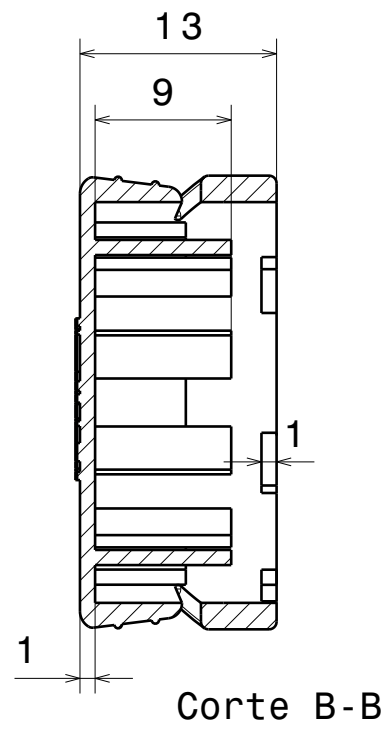
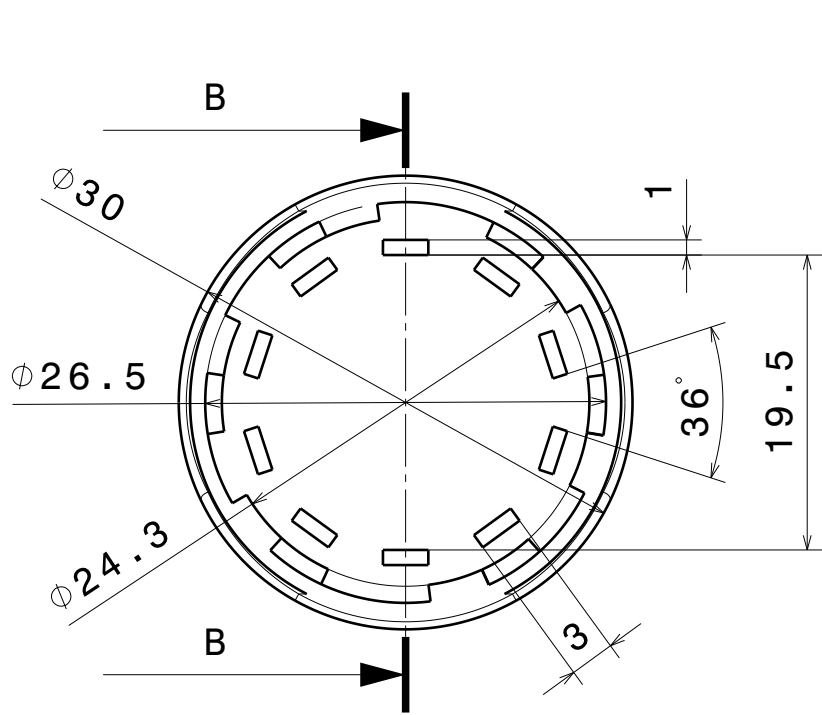


This drawing is our property.  
It can't be reproduced  
or communicated without  
our written agreement.

DRAWN BY	DATE
Antony Sobreira	08-07-2013
CHECKED BY	DATE
XXX	xxx
DESIGNED BY	DATE
XXX	xxx

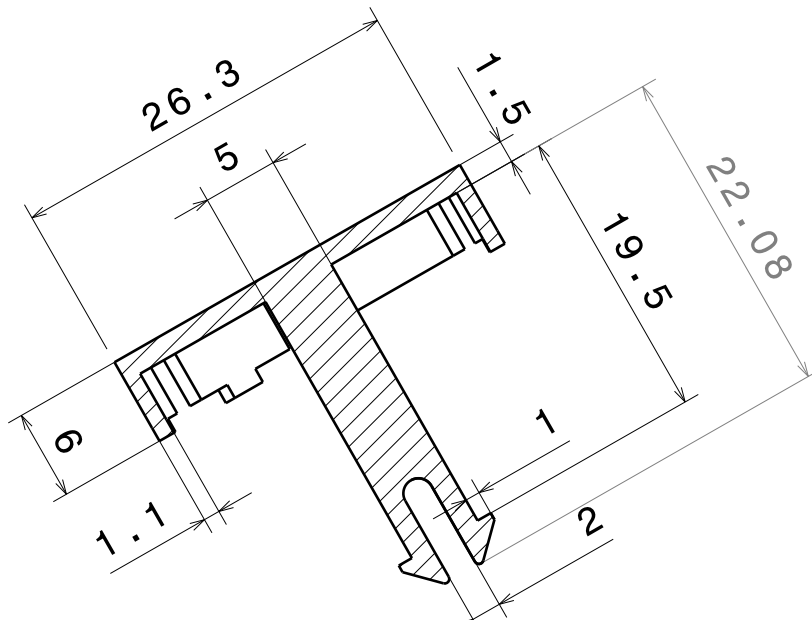
Sistema DV			
DRAWING TITLE			
Vista Explodida			
SIZE	DRAWING NUMBER		REV
A4			X
SCALE	2:1	WEIGHT(kg)	SHEET 1/1



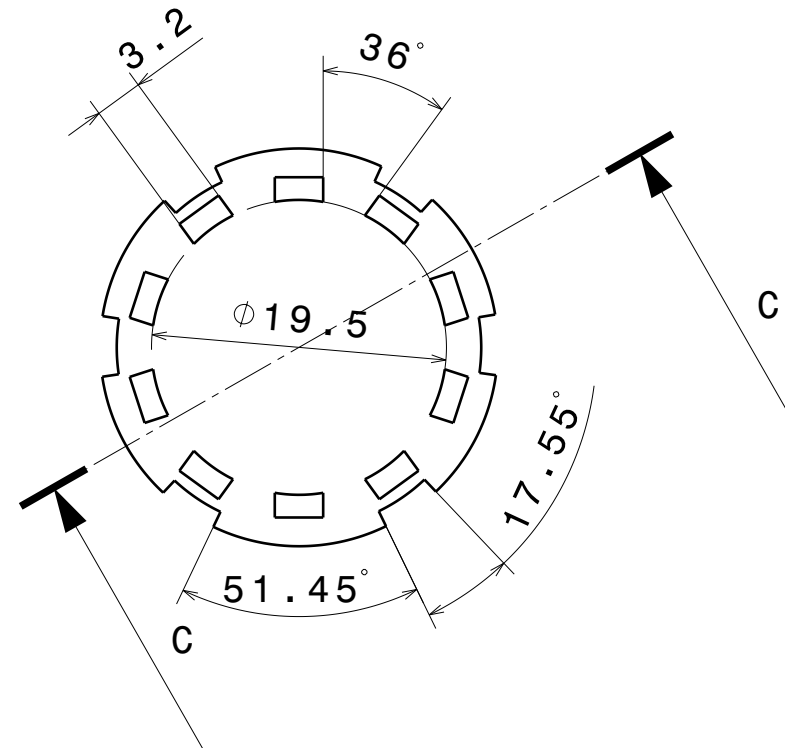


This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.		Cápsula exterior			
		DRAWING TITLE			
DRAWN BY	DATE	SIZE	DRAWING NUMBER		REV
Antony Sobreira	08-07-2013				X
CHECKED BY	DATE		WEIGHT(kg)		SHEET
XXX	xxx	A4			
DESIGNED BY	DATE	SCALE	2:1		1/1
XXX	xxx				



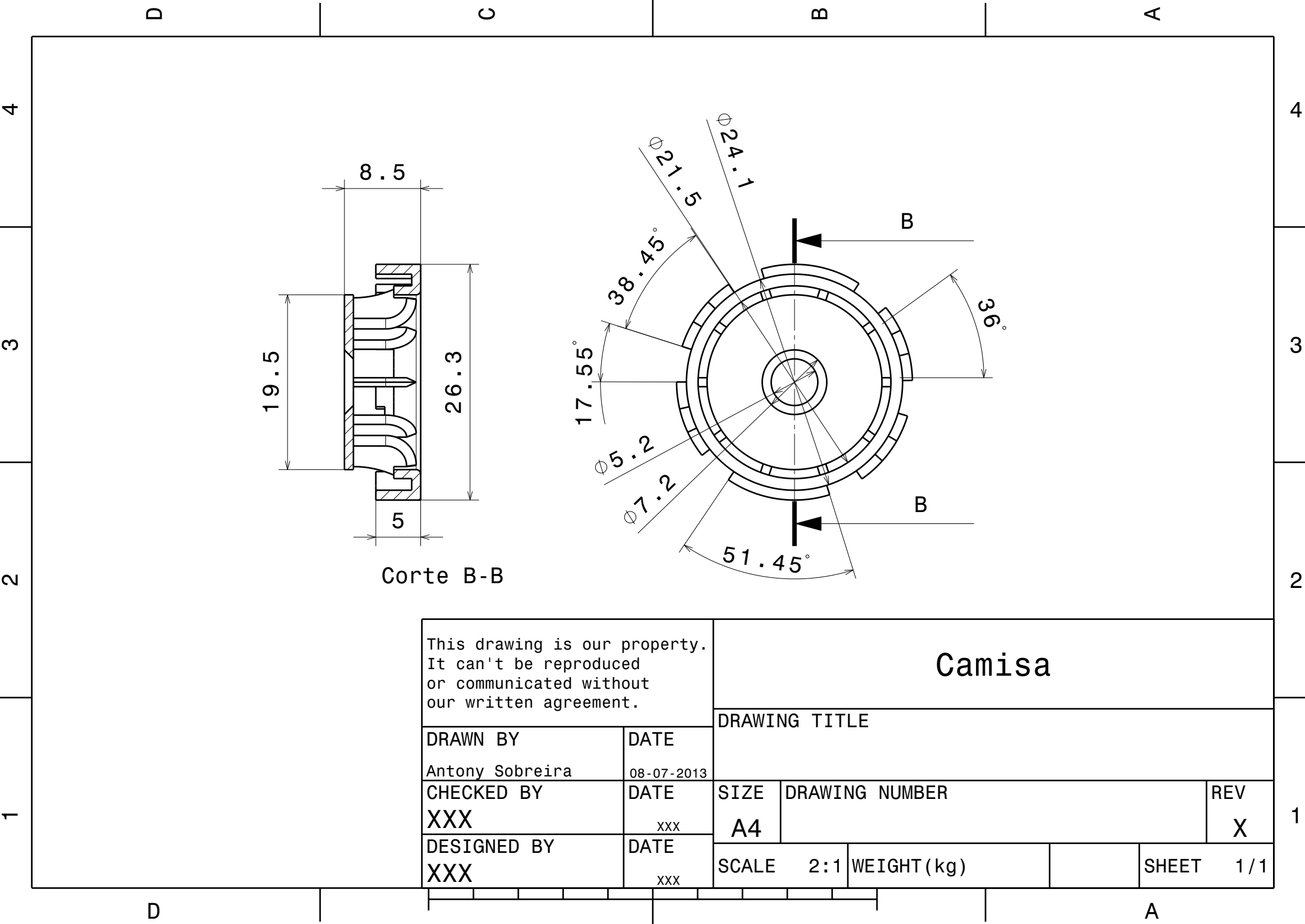


Corte C-C



This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.				Pino			
DRAWN BY				DRAWING TITLE			
Antony Sobreira		08-07-2013					
CHECKED BY		DATE		SIZE	DRAWING NUMBER		REV
XXX		XXX		A4			X
DESIGNED BY		DATE		SCALE	2:1	WEIGHT(kg)	SHEET
XXX		XXX					1/1





This drawing is our property.  
It can't be reproduced  
or communicated without  
our written agreement.

DRAWN BY	DATE
Antony Sobreira	08-07-2013

CHECKED BY	DATE
XXX	XXX

DESIGNED BY	DATE
XXX	XXX

Camisa

DRAWING TITLE			
---------------	--	--	--

SIZE	DRAWING NUMBER	REV
A4		X

SCALE	2:1	WEIGHT(kg)		SHEET	1/1
-------	-----	------------	--	-------	-----





